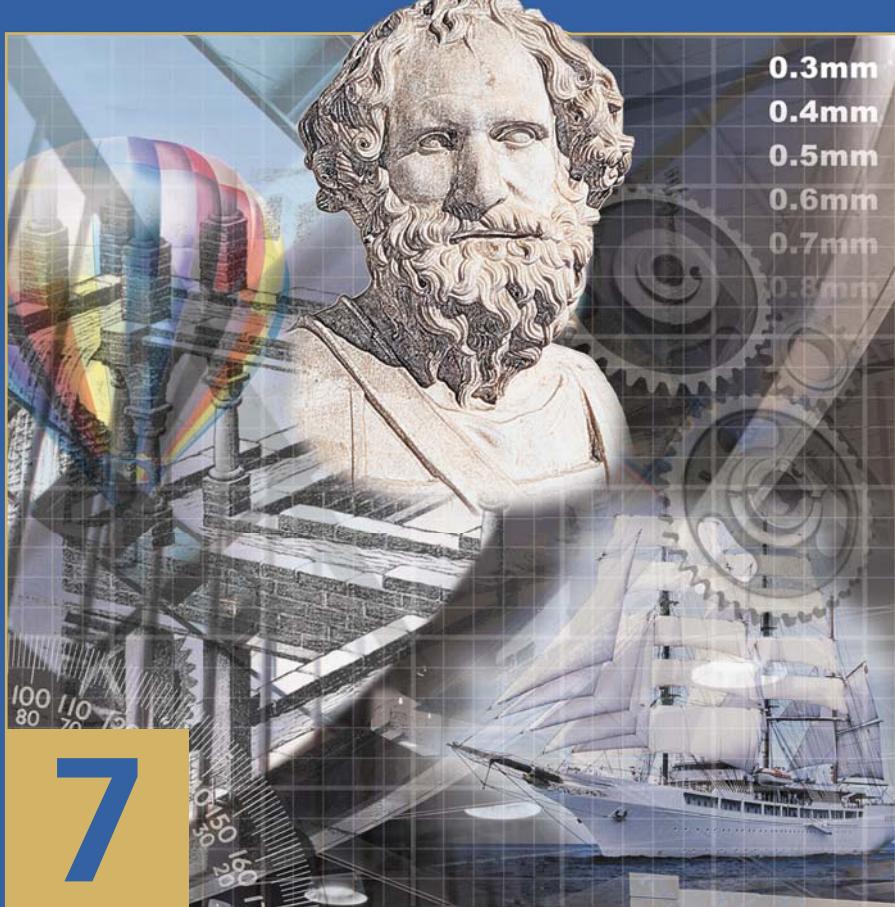




С. В. Громов  
Н. А. Родина

Классический курс

# физика



7

**Классический курс**

# **физика**

**7 класс**

**Учебник**

Под редакцией **Ю. А. Панебратцева**

Допущено Министерством просвещения  
Российской Федерации

*3-е издание, стереотипное*

Москва  
«Просвещение»  
2022

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

Серия «Классический курс» основана в 2007 году

Авторы: С. В. Громов, Н. А. Родина, В. В. Белага, И. А. Ломаченков,  
Ю. А. Панебратцев

На учебник получены **положительные заключения научной** (заключение РАО № 883 от 18.11.2016), **педагогической** (заключение РАО № 654 от 21.11.2016) и **общественной** (заключение РКС № 355-ОЭ от 22.12.2016) экспертиз.

Издание выходит в pdf-формате.

**Физика : 7-й класс : учебник : издание в pdf-формате /**  
**Ф50 С. В. Громов, Н. А. Родина, В. В. Белага [и др.] ; под ред.**  
**Ю. А. Панебратцева. — 3-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 224 с. : ил. — (Классический курс).**

ISBN 978-5-09-101316-0 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-093108-3 (печ. изд.).

Учебник относится к завершённой линии учебно-методических комплектов по физике «Классический курс» для 7—9 классов. Он способствует достижению образовательных результатов (личностных, метапредметных и предметных) по физике в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования.

Материал учебника для 7 класса предполагает изучение курса физики на уровне ознакомления с физическими явлениями, формирования основных физических понятий, определения физических величин, приобретения умения измерять физические величины, применения полученных знаний на практике.

Материал учебника распределён по рубрикам в соответствии с видами учебной деятельности.

Учебник предназначен для учащихся 7 класса основной школы.

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

ISBN 978-5-09-101316-0 (электр. изд.)  
ISBN 978-5-09-093108-3 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2019  
© Художественное оформление.  
АО «Издательство «Просвещение», 2019  
Все права защищены

# Дорогие друзья!

Вы начинаете изучать одну из наиболее интересных и сложных наук о природе — физику. И поможет в этом учебник, который вы держите в руках.

Материал учебника разделён на тематические главы, которые состоят из параграфов. В тексте каждого параграфа важные для осмысления и запоминания термины и понятия выделены **жирным** шрифтом или **наклонным** шрифтом (*курсивом*).

Для активной работы с текстом параграфа и эффективного усвоения учебного материала помогут следующие рубрики.

## Вспомните

Каждый параграф начинается с вводной рубрики **«Вспомните»**, вопросы которой подскажут, что необходимо вспомнить из ранее изученного материала, для того чтобы усвоить новый.

## Важно

Текст, содержащийся в рубрике **«Важно»**, отражает ключевые аспекты изучаемого материала.

## Запомните

Наиболее важные формулы, термины и физические законы выделены в рубрике **«Запомните»**.



Рубрика **«Теория и практика»** иллюстрирует изучаемый материал интересными историческими фактами и сведениями, примерами технических устройств и явлениями повседневной жизни.



**Примеры решения задач** в параграфе выделены специальным графическим элементом.



Рубрика **«Проводим опыты»** поможет вам самостоятельно провести эксперименты по тематике изучаемого материала.



Завершают параграф **вопросы**, ответы на которые помогут вам закрепить изученный материал и проверить свои знания.

В конце каждого параграфа приведена рубрика **«Ключевые слова»** для поиска дополнительной информации.

Найти



Вопросы, содержащиеся в рубрике «Обсудить в классе», носят проблемный характер и могут стать темой для дискуссии.



Интересные темы для сообщений в классе приведены в рубрике «Темы докладов».

В конце каждой главы находится рубрика «Повторим пройденное», где собраны основные итоги и формулы для запоминания изученной темы.

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



математика;



биология;



география;



история;



технология;



физкультура.

Эта рубрика является подсказкой, которая поможет вам выполнить следующие задания:

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

# ГЛАВА 1

## ВВЕДЕНИЕ

### § 1. Что изучает физика

#### Вспомните

- Какие науки о природе вам известны?

Учебник, который вы открыли, называется «Физика». Эту новую для вас науку вы будете изучать до окончания школы.

Знакомство с физикой не заканчивается в школе. Есть специальные институты, в которых готовят учёных-физиков. Но физика нужна не только учёным — она нужна всем: рабочим, врачам, инженерам, конструкторам, людям любой профессии. Познавая физику, человек становится умнее и сильнее, он перестаёт быть беспомощным перед стихиями природы, он начинает понимать мир, в котором живёт.

**Почему нужно изучать физику.** Только зная физику, можно проектировать и строить дома, заводы, машины, электростанции. Чтобы создавать радиоприёмники, автомобили, космические аппараты, даже просто одежду и продукты питания, надо знать физику.

Например, очки, телескопы, фотоаппараты и видеокамеры можно было сделать только потому, что физики изучили, как распространяется свет в воздухе и стекле. Конструирование и изготовление кораблей, самолётов, воздушных шаров основаны на знании закономерностей, которым подчиняются жидкости, газы и движущиеся в них тела.

Без знания физики нельзя было бы изготовить часы, мобильный телефон, пылесос, телевизор, компьютер, и потому у нас не было бы многих полезных вещей, которые помогают нам готовить и хранить пищу, убирать квартиру, слушать музыку, играть и т. п.

**Физические явления.** Что же изучает физика?

#### Важно

*Физика — наука о природе.*

Но в природе происходит очень много разных изменений, или **явления**. Какие же из них изучает физика? К физическим явлениям относят:

1) **механические явления** (например, движение самолётов и автомобилей, качание маятников и течение жидкостей по трубам, обращение Земли вокруг Солнца и т. п.);

## ГЛАВА 1. Введение

- 2) **электрические явления** (например, притяжение и отталкивание наэлектризованных тел, электрический ток и т. п.);
- 3) **магнитные явления** (например, действие магнитов на железный бруск, магнитное взаимодействие токов, влияние Земли на стрелку компаса и т. п.);
- 4) **оптические явления** (распространение света в различных средах, отражение света от зеркал, свечение различных источников и т. п.);
- 5) **тепловые явления** (таяние льда, кипение воды, тепловое расширение металлов, действие электронагревательных приборов и т. п.);
- 6) **внутриатомные и внутриядерные явления** (например, излучение и поглощение света, процессы, происходящие в недрах звёзд).

Все эти явления свойственны неживой природе. Но многие из них могут происходить и внутри живых организмов. Так, например, влага поднимается от земли к колосу по стеблю растения, кровь течёт по сосудам в теле человека и животного, по нервным волокнам передаются электромагнитные сигналы от мозга.

Как же может одна наука — физика — разобраться в таком множестве явлений?

**Физические законы.** Это возможно благодаря удивительному свойству науки — выводить общие законы на основании изучения простых явлений. Например, изучив свободное падение шариков разных размеров с разной высоты, можно установить законы, которые будут выполняться и при падении других тел. По этой книге вы начнёте изучать именно такие простые явления и постепенно научитесь обнаруживать в них важные закономерности.

### Важно

В этом состоит главная задача физики — открыть законы, которым подчиняются различные физические явления, происходящие в природе, найти взаимосвязи и причины явлений.

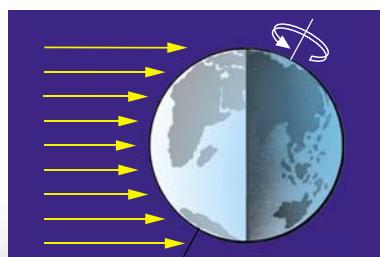


Рис. 1.1

Например, было установлено, что причиной кругового обращения планет вокруг центра Солнечной системы является притяжение их Солнцем; причиной смены дня и ночи является вращение освещаемой солнечным светом Земли вокруг своей оси (рис. 1.1); одной из причин возникновения ветра является неравномерный нагрев воздуха и т. п.

Но не только физика занимается изучением природы, есть и другие науки о ней, например география, биология, химия. Каждая наука имеет свои цели и методы изучения природы. Изучая физику, вы постепенно узнаете, чем отличается одна наука от другой и как в то же время они тесно связаны.

**Зарождение физики.** Науки о природе зародились давно. Первыми пытались объяснить наблюдаемые явления природы учёные Древнего Китая, Индии и Древней Греции. В сочинениях древнегреческого учёного Аристотеля, жившего в IV в. до н. э., и появилось слово «физика» (от греческого слова «φύσις» — природа). В русский язык это слово ввёл в XVIII в. М. В. Ломоносов, когда он издал в переводе с немецкого первый в России учебник физики.

**Для чего нужна физика.** Знания о физических явлениях, накопленные человечеством, не устаревают с течением времени. Новые открытия в физике не отменяют открытия, сделанные ранее, а только дополняют их, углубляют наши представления об окружающем мире.

### Важно

Именно физические открытия стали причиной технического прогресса человечества. Открытие законов физики позволило создать сложнейшие устройства и механизмы. Например, такие привычные сегодня технические устройства, как мобильные телефоны, компьютеры, лазеры и многие другие, появились вследствие открытий в квантовой физике.

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



- Почему изучать физику нужно не только учёным-физикам?
- Что изучает физика? Приведите примеры физических явлений.
- В чём состоит главная задача физики?

Физика. Физические явления. Физические законы

Найти



Как люди открыли Землю.

## § 2. НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ

### Вспомните

- Что изучает физика?

Чтобы рассказывать о физике, изучать её, приходится использовать специальные слова — *научные термины*.

**Физическое тело.** Говоря о движении различных предметов: самолёта, человека, мяча и др., физик часто может не считаться с тем, какой объект движется, так как для изучения движения это во многих случаях несущественно. Тогда он говорит, что движется *физическое тело* (или просто *тело*), понимая под этим любой предмет. Например, несколько физических тел изображено на рисунке 1.2 — это карандаш, водопроводный кран, капля воды, резиновый шарик, наполненный воздухом.

### Материя и вещество.

### Важно

Всё то, из чего состоят физические тела, называют *веществом*. Железо, стекло, пластилин, резина, воздух, вода — это различные виды вещества. Всё, что есть во Вселенной, называют *материей*. Материя является более общим понятием, чем вещество.

Материальны (т. е. действительно существуют в природе) растения, животные, планеты, звёзды, различные вещества, из которых состоят физические тела: металл, вода, воздух и т. п. Термин «материя» означает всё, что реально существует в окружающем нас мире и не зависит от нашего сознания.

Например, свет и радиоволны материальны, а мысли и сны нельзя считать материальными, так как они существуют лишь в нашем сознании.



Рис. 1.2



Демокрит  
(V в. до н. э.)

**Вещество и атомы.** В V в. до н. э. древнегреческий философ Демокрит выдвинул гипотезу о строении вещества. Согласно легенде, он задался вопросом: что получится, если разрезать яблоко пополам, потом половинку разрезать ещё раз пополам и т. д.? Сможем ли мы разрезать яблоко до бесконечности, или существует предел его деления, которым является мельчайшая частица? Философ пришёл к выводу, что должен существовать предел деления. Самую маленькую частицу вещества, которую нельзя разделить на части, Демокрит назвал атомом. Слово «атом» в переводе с греческого означает «неделимый».

### Важно

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

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



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

Итак, мы ознакомились со следующими терминами: физическое тело, вещество, материя, атом. В дальнейшем нам предстоит узнать много новых терминов. Знакомясь с ними, мы будем постигать язык науки.



1. Что в физике называют телами? 2. Какие тела изображены на рисунке 1.2 и из каких веществ они состоят? 3. Что означает термин «материя»?

## § 3. Наблюдения и опыты

### Вспомните

- Какие явления изучает физика?

Каждый знает, что стрелка компаса всегда указывает на север; если выпустить из рук предмет, он упадёт на пол; если дотронуться до пламени, то можно обжечься и т. п.

**Роль наблюдения и опыта в нашей жизни.** Начальные знания об окружающем мире мы получаем из *наблюдений* за явлениями. Однако в физике, как и в некоторых других науках (например, в биологии, химии), знания добывают не только из наблюдений, но и из опытов.



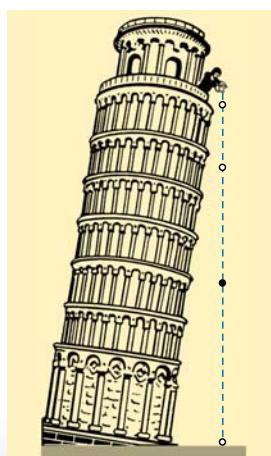
Проследите за процессом испарения воды, налитой в стакан, в двух опытах: а) стакан установлен в прохладном месте; б) стакан установлен вблизи горячей батареи отопления. Оцените уровень понижения воды за двое суток.

Какой главный вывод вы сделаете?

### Важно

**Опыты** (или *эксперименты*) отличаются от простых наблюдений тем, что их проводят с определённой целью, по заранее обдуманному плану и во время проведения опыта обычно выполняют специальные измерения.

Например, наблюдая падение мяча, мы можем лишь заметить, что он падает вертикально вниз. А чтобы изучить, как изменяется скорость тела в процессе падения, надо поставить специальные опыты. Легенда рассказывает, что итальянский учёный Г. Галилей (1564—1642), чтобы изучить, как происходит свободное падение тел, поднимался на знаменитую наклонную башню и сбрасывал оттуда разные шары (рис. 1.3). Наблюдая за их падением и выполняя при этом необходимые измерения (например, определяя время падения), он установил законы падения тел.



**Получение новых знаний.** Накопив за время наблюдений определённые сведения о явлении,

Рис. 1.3

мы пытаемся выяснить, как это явление протекает и почему. В ходе таких размышлений рождаются различные предположения о сути наблюдаемого явления, которые называются *гипотезами*. Для того чтобы проверить гипотезу, ставят специальные опыты (эксперименты). Выдвигая ту или иную гипотезу, мы с помощью эксперимента можем либо её подтвердить, либо опровергнуть.



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

**Важно**

Таким образом, знание рождается в результате последовательности шагов:

*наблюдение — гипотеза — эксперимент — вывод*



1. Каким образом мы получаем знания о явлениях природы?
2. Чем отличаются опыты от наблюдений?

Наблюдение. Гипотеза. Опыт. Эксперимент

Найти



Можно ли получить новое знание, ограничиваясь только процессом наблюдения?



- Наблюдение за кораблями, которые исчезали за горизонтом
- Гипотеза: Земля имеет окружную форму
- Эксперимент: кругосветное путешествие Магеллана
- Вывод: Земля круглая

## § 4. Физические величины и их измерение

### Вспомните

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

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

**Физические величины.** Опыты (или эксперименты), осуществляемые учёными, как правило, сопровождаются измерениями. Характеристики тел или процессов, которые могут быть измерены на опыте, называют **физическими величинами**. Физическими величинами являются объём, температура, скорость, масса, вес и т. п.

Одна и та же физическая величина используется для описания одного и того же свойства различных физических явлений или тел. Например, мы можем говорить о длине шага, длине стола, длине доски. При этом значения вышеперечисленных длин будут разными.

**Единица физической величины.** У каждой физической величины есть своя *единица*. Например, в принятой многими странами Международной системе единиц (сокращённо СИ, что значит «система международная») основной единицей длины считается *метр* (1 м), единицей времени — *секунда* (1 с), единицей массы — *килограмм* (1 кг).

*Измерение физической величины — это сравнение её с эталоном.*



Для того чтобы зафиксировать единицы СИ, были созданы их международные эталоны, которые хранятся во Франции в городе Севр. Исторически метр, килограмм и секунда определялись следующим образом: метр — это одна сорокамиллионная часть длины Парижского меридиана; килограмм — это масса кубика воды объёмом 1000 кубических сантиметров; секунда — это 1/86 400 часть времени обращения Земли вокруг своей оси.

Однако во второй половине XX в. достижения физики позволили ввести более совершенные эталоны метра и секунды. Так, в 1983 г. за эталон метра был принят путь, проходимый светом в пустоте за  $1/299\ 792\ 458$  долю секунды. А в 1997 г. было принято последнее уточнение, связывающее эталон секунды с высокоточными «атомными часами».

**Кратные и дольные единицы.** На практике используются также *кратные единицы*, которые в 10, 100, 1000 и т. д. раз больше, и *дольные единицы*, которые в 10, 100, 1000 и т. д. раз меньше принятых единиц. Для обозначения наименований кратных и дольных единиц применяются специальные приставки: мега (М), кило (к), милли (м), санти (с) и др. (табл. 1).

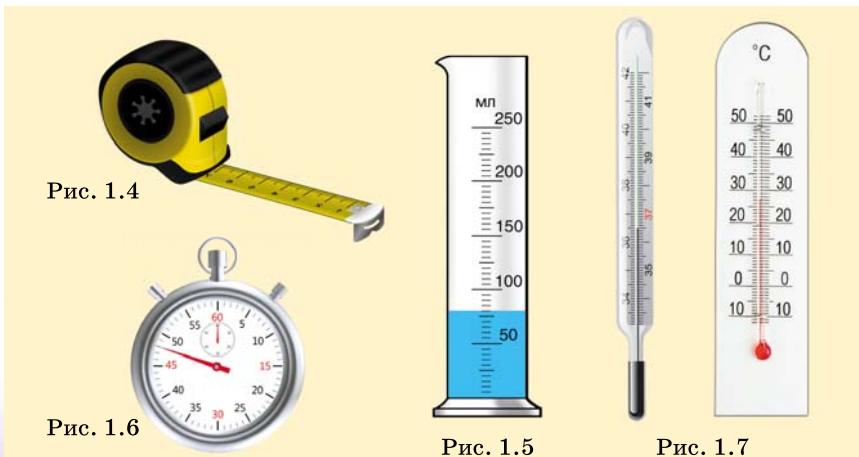
Таблица 1

| Приставка | Множитель | Приставка  | Множитель |
|-----------|-----------|------------|-----------|
| мега (М)  | 1 000 000 | микро (мк) | 0,000001  |
| кило (к)  | 1000      | милли (м)  | 0,001     |
| гекто (г) | 100       | санти (с)  | 0,01      |

Например:

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}, 1 \text{ мс} = 0,001 \text{ с}.$$

**Измерительные приборы.** Для измерения физических величин и проведения опытов нужны различные *физические приборы*. Некоторые из них достаточно просты: например, рулетка (рис. 1.4) и измерительный цилиндр, применяемый для измерения объёма жидкости (рис. 1.5). Но есть и более сложные приборы: секундомер (рис. 1.6), термометр (рис. 1.7) и др. С развитием физики и техники приборы совершенствовались и усложнялись.



## ГЛАВА 1. Введение

**Шкала прибора.** У большинства измерительных приборов имеется шкала с нанесёнными при помощи штрихов делениями и значениями величин, соответствующими делениям. Интервалы между штрихами, около которых написаны числовые значения, могут быть дополнительно разделены на несколько делений, не обозначенных числами. Но несложно установить, какому значению величины соответствует каждое самое малое деление.

**Цена деления прибора.** Рассмотрим для примера линейку — прибор для измерения длины. Расстояния между штрихами, обозначенными 1 см, 2 см, 3 см и т. д., разделены на 10 одинаковых делений. Найдя отношение  $1 \text{ см}/10$ , мы установим, что каждое деление, т. е. расстояние между двумя ближайшими штрихами, соответствует 1 мм. Эта величина называется ценой деления прибора.

Прежде чем измерять физическую величину каким-либо прибором, нужно обязательно определить цену деления этого прибора.

### Запомните

Чтобы определить цену деления, нужно найти два ближайших штриха шкалы, около которых написаны числовые значения. Затем из большего значения вычесть меньшее и полученное число разделить на число делений, находящихся между ними.

Определим, например, цену деления секундомера, изображённого на рисунке 1.6. Используем любые два штриха, около которых нанесены значения измеряемой величины (времени), например штрихи с числами 45 с и 50 с. Интервал между этими штрихами разделён на 5 делений. Значит, цена деления  $= \frac{50 \text{ с} - 45 \text{ с}}{5} = 1 \text{ с}$ .

Зная цену деления, мы теперь можем определить, какое время показывает этот секундомер: время  $= 45 \text{ с} + 3 \cdot 1 \text{ с} = 48 \text{ с}$ .

Итак, стрелка секундомера показывает 48 с (рис. 1.6).

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

### Важно

В физике допускаемую при измерении неточность называют *погрешностью измерений*. Она возникает, например, в случае, когда значение измеряемой величины лежит между штрихами шкалы прибора.

При этом, даже если нам кажется, что при измерении длины предмета его кромка в точности совпадает со штрихом на измерительном приборе, погрешность измерений всё равно присутствует, потому что оценка на глаз не бывает идеально точной. Именно поэтому принято считать, что погрешность измерений равна половине цены деления шкалы измерительного прибора.

### Запомните

Для записи величин с учётом погрешности измерений используют следующую формулу:

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

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

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



Определите толщину нити с помощью линейки с ценой деления 1 мм. Для этого плотно обмотайте нить вокруг линейки между штрихами, отмеченными на расстоянии 0,5 см. Посчитайте число получившихся витков нити. Рассчитайте толщину нити, разделив 0,5 см на число полученных витков.



1. Приведите примеры физических величин.
2. Какие физические приборы вы знаете?
3. Как определить цену деления измерительного прибора?
4. Какие из приведённых ниже терминов обозначают физические величины: дом, глубина озера, высота дома, объём воды, холод, скорость поезда, автомобиль, длинная линейка?

**Физическая величина.** Единица физической величины. СИ, кратные и дольные единицы. Шкала прибора, цена деления, погрешность измерения

Найти



1. Инструменты для измерения длины. От древности до наших дней.
2. Как люди определяли время.



- Измерительный прибор — линейка
- Радиус окружности, длина отрезка

## ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ

Прочитайте текст. Запомните, что означают выделенные в тексте слова.

**Физика** — одна из наук о природе. Название этой науке дал древнегреческий учёный Аристотель. Физика изучает различные физические объекты и физические явления.

**Физические явления** — любые изменения, происходящие в природе, в которых участвуют физические объекты. Физические объекты — тела, свет, радиоволны и др.— материальны.

**Материя** существует независимо от наших знаний о ней. Человек познаёт свойства физических объектов и явлений.

**Физические величины** характеризуют эти свойства. Физические величины измеряют с помощью **физических приборов**.

**Измерение** — это сравнение физической величины с эталоном. При измерении физических величин всегда присутствуют погрешности измерения, которые необходимо учитывать.

Человек устанавливает общие для разных объектов и явлений взаимосвязи — **физические законы** и поэтому может описывать, объяснять, предсказывать физические явления и даже управлять ими.

Мы начали изучать основы науки физики. В этом нам поможет учебник физики. Интересно, что первый учебник физики в России был издан в XVIII в. великим русским учёным М. В. Ломоносовым.

# ГЛАВА 2

## СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

### § 5. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

#### Вспомните

- Каким образом мы получаем знания о явлениях природы?

В физике не только наблюдают и описывают явления и свойства тел, но и объясняют, почему явления протекают так, а не иначе. Например, почему вода растекается, когда её проливают на пол, а на горячей сковородке она собирается в капли? Почему газ легко сжать, а твёрдое тело и жидкость — очень трудно? Почему нагретый кусок стали легче изогнуть и расплощить, чем холодный? Ответить на эти и многие другие вопросы можно, но для этого нужно знать строение вещества.

**Зачем нужно знать, из чего состоит вещество.** Знания о строении вещества позволяют не только объяснять многие физические явления. Они помогают предсказывать, как будет происходить явление, что нужно сделать, чтобы его ускорить или замедлить, т. е. помогают управлять явлениями.

Изучив строение тел, можно объяснить их свойства, а также создать новые вещества с нужными свойствами — твёрдые и прочные сплавы, жароупорные материалы, пластмассу, искусственный каучук, капрон, лавсан и др.

Все эти материалы нашли широкое применение в технике, медицине, быту.

**Явления и опыты, позволяющие сделать выводы о строении вещества.** О строении вещества позволяют судить некоторые явления и опыты.

Если сжать руками мяч, то объём воздуха, заполняющего мяч, уменьшится. Приложив силу, можно уменьшить и объём куска резины, воска.

Но изменение объёма происходит не только из-за механического воздействия на тело.

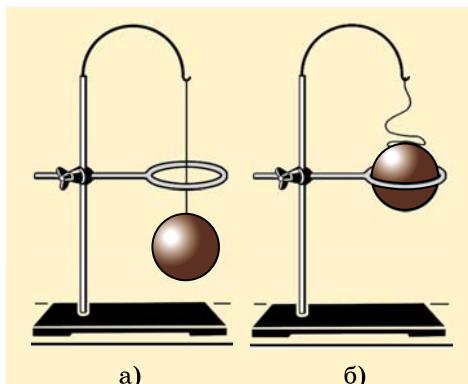


Рис. 2.1

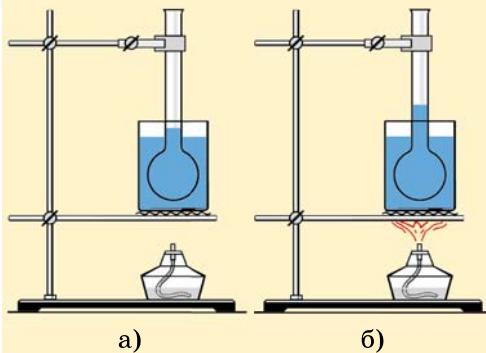


Рис. 2.2

Итак, опыты показывают, что объём тела может изменяться: уменьшаться или увеличиваться.

**Важно**

Изменение объёма тел объясняется тем, что *вещества состоят из отдельных частиц, между которыми есть промежутки*. Когда эти частицы удаляются друг от друга, объём тела увеличивается. При сближении частиц объём тела уменьшается.



Изменение объёма тел в зависимости от температуры учитывается при строительстве дорог, прокладке проводов и др. Например, железнодорожный рельс в жаркий день может удлиниться на 4 см. Поэтому рельсы железнодорожного пути не кладут вплотную друг к другу, между их стыками оставляют небольшие промежутки — запас для свободного удлинения рельсов при нагревании.

Провода между столбами натягивают не слишком туго, они обычно слегка провисают. Это делают для того, чтобы зимой, когда провода сжимаются при охлаждении, не возникало разрывов.

Гипотеза о том, что все вещества состоят из мельчайших частиц, была высказана древнегреческими учёными. Они обосновывали её тем, что распространение запаха, испарение жидкостей, постепенное уменьшение объёма камня под действием волн объясняются отделением от тел мельчайших частиц.

Стальной шарик, свободно проходящий через кольцо в холодном состоянии (рис. 2.1, а), после нагревания расширяется и застревает в кольце (рис. 2.1, б). Остыв, шарик сжимается и снова проходит через кольцо.

При нагревании расширяются не только твёрдые тела, но и жидкости. Опыт, изображённый на рисунке 2.2, а, б, показывает, как изменяется уровень жидкости в колбе при нагревании сосуда с жидкостью над пламенем горелки.

Почему же тогда все вещества — вода, сталь, дерево — кажутся нам сплошными?

Дело в том, что частицы, из которых состоят вещества, чрезвычайно малы и расположены на очень малых расстояниях друг от друга.

Представление о размерах этих частиц даёт следующий опыт (рис. 2.3). Маленькую крупинку краски растворяют в воде, налитой в сосуд. Затем немного окрашенной воды отливают в другой сосуд и доливают в него чистую воду. Во втором сосуде раствор окрашен слабее, чем в первом. Из второго отливают немного раствора в третий сосуд и опять доливают в него чистую воду. Так повторяют несколько раз и убеждаются, что раствор становится всё более светлым.

Рассмотрим последний раствор. Он хотя и очень слабо, но равномерно окрашен. Следовательно, в каждой его капле содержатся частицы краски. А ведь в воде растворили очень маленькую крупинку краски, и лишь часть её попала в последний раствор. Значит, крупинка состояла из очень большого числа частиц, размеры которых чрезвычайно малы.

### Важно

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

Что же это за частицы? Об этом будет рассказано в следующем параграфе.



1. Для чего нужно знать строение вещества?
2. Какие вы знаете материалы, созданные человеком?
3. Чем объясняется изменение объёма тел?
4. Какие явления показывают, что тела состоят из мельчайших частиц, между которыми есть промежутки?
5. Почему, несмотря на сложное строение, все вещества нам кажутся сплошными?

Строение вещества. Опыты, свидетельствующие о существовании частиц вещества и промежутков между ними

Найти

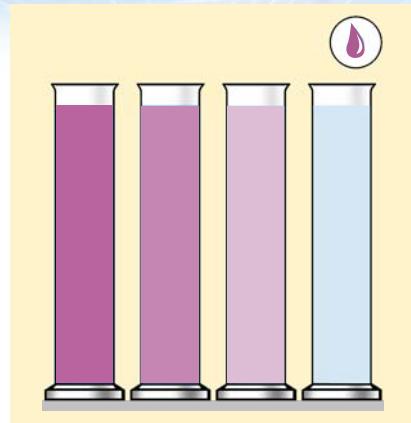


Рис. 2.3

## § 6. Молекулы и атомы

### Вспомните

- Из чего состоит вещество?

Гипотеза о том, что все вещества состоят из отдельных мельчайших частиц, появилась очень давно, более двух тысяч лет назад. Но лишь на рубеже XIX—XX вв. было окончательно установлено, что это за частицы и какими свойствами они обладают.

**Молекулы.** Частицы, из которых состоят многие вещества, называют **молекулами**.

Так, например, наименьшая частица воды — это молекула воды, наименьшая частица сахара — это молекула сахара и т. п.

**Размеры молекул.** Каковы размеры молекул?

Известно, что кусок сахара можно растолочь на очень маленькие крупинки, зерно пшеницы можно размолоть в муку. Капля масла, растекаясь по поверхности воды и полностью покрывая воду в сосуде, может образовывать плёнку, толщина которой в десятки тысяч раз меньше диаметра человеческого волоса. Но в крупинке муки и в толще масляной плёнки содержится не одна, а много молекул. Значит, размеры молекул этих веществ ещё меньше, чем размеры крупинки муки и толщина плёнки.



Можно привести следующее сравнение. Если бы размеры всех тел увеличились в миллион раз (при этом толщина человеческого пальца стала бы равна 10 км), то тогда и молекула оказалась бы размером всего в половину точки печатного шрифта этого учебника.

**Опыт по определению размеров молекул.** Для определения размеров молекул были проведены разные опыты. Опишем один из них.

В чисто вымытый большой сосуд налили воду и на её поверхность поместили каплю масла. Масло начало растекаться по поверхности воды, образуя плёнку. По мере растекания масла толщина плёнки становилась всё меньше и меньше. Через некоторое время растекание прекратилось, не вся поверхность воды была покрыта маслом. Если предположить, что это произошло из-за того, что все молекулы масла оказались на поверхности воды (образовав плёнку толщиной в одну молекулу), то для определения диаметра молекулы достаточно найти толщину образовавшейся плёнки.

Толщина плёнки  $h$  равна отношению её объёма  $V$  к площади  $S$ :

$$h = \frac{V}{S}. \quad (6.1)$$

Объём плёнки — это объём той капли, которую поместили на поверхность воды. Его измеряют заранее; для этого пользуются измерительным цилиндром — мензуркой. При помощи пипетки в пустую мензурку капают несколько десятков капель масла и измеряют их общий объём; разделив затем этот объём на число капель, находят объём одной капли.

В описываемом опыте капля имела объём  $V = 0,0009 \text{ см}^3$ , а площадь образовавшейся из неё плёнки была равна  $S = 5500 \text{ см}^2$ . Подставив эти значения в формулу (6.1), получим

$$h = 0,0000016 \text{ см}.$$

Этим числом и выражается примерный размер молекулы масла.

**Атомы.** Хотя молекулы и очень маленькие частицы, но и они делимы. Частицы, из которых состоят молекулы, называют **атомами**.

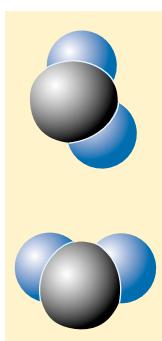


Рис. 2.4

На рисунке 2.4 дано условное изображение двух молекул воды. В результате некоторых химических превращений из этих молекул можно получить два атома кислорода и четыре атома водорода. При этом каждые два атома водорода могут объединиться в молекулу водорода, а атомы кислорода — в молекулу кислорода, что схематически показано на рисунке 2.5.

Существуют тела, состоящие не из молекул, а из атомов. Например, такие разные тела, как алмаз и графитовый стержень карандаша, состоят из атомов одного и того же вида — из атомов углерода.

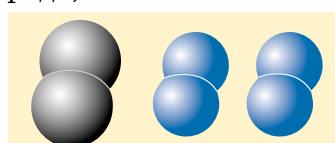


Рис. 2.5

## ГЛАВА 2. Строение вещества

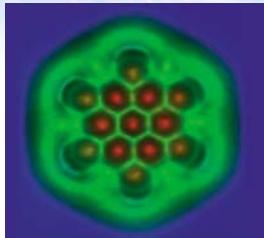


Рис. 2.6

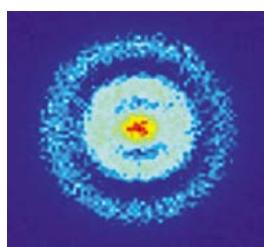


Рис. 2.7

свойствами. Как ожидается, нанотехнологии позволят решить многие важные для человечества задачи.



1. Как называются частицы, из которых состоят вещества?
2. Опишите опыт, с помощью которого можно определить размер молекулы.
3. Как называются частицы, из которых состоят молекулы?
4. Из каких атомов состоит молекула воды? Что означает формула  $\text{H}_2\text{O}$ ?
5. Напишите химическую формулу молекулы водорода, если известно, что эта молекула состоит из двух одинаковых атомов водорода.
6. Из скольких (и каких) атомов состоит молекула углекислого газа, если её химическая формула имеет вид  $\text{CO}_2$ ?

Молекулы, атомы. Размеры молекул и атомов.

Электронный микроскоп

Найти



История открытия атома.



- Размеры атомов и молекул
- Сравнение чисел, порядки величин

## § 7. Броуновское движение. Диффузия

### Вспомните

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

Все вещества состоят из мельчайших частиц — молекул и атомов. Опыты показывают, что эти частицы находятся в постоянном движении, которое не может быть обнаружено каким-либо прямым наблюдением: это явление нельзя увидеть ни в лупу, ни в микроскоп. Однако убедиться, что молекулы движутся, можно косвенным образом, т. е. увидеть не само движение молекул, а результат этого движения.

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

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



Роберт Броун  
(1773 — 1858)

### Важно

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

Впоследствии это явление назвали броуновским движением.

**Объяснение броуновского движения.** Впервые строгое объяснение броуновского движения дал в 1905 г. польский физик Мариан Смолуховский.

## ГЛАВА 2. Строение вещества

ховский. Одновременно теорию этого явления разрабатывал Альберт Эйнштейн, осознавая, что оно служит экспериментальным подтверждением теории строения веществ.

### Важно

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

**Диффузия.** Если в закрытую комнату внести какое-либо пахучее вещество, то его запах через некоторое время будет ощущаться по всей комнате. Почему это происходит?

Распространение запаха объясняется движением молекул вещества. Это движение носит непрерывный и беспорядочный характер. Сталкиваясь с молекулами газов, входящих в состав воздуха, молекулы пахучего вещества много раз меняют направление своего движения и, беспорядочно перемещаясь, разлетаются по всей комнате.

То, что молекулы тел непрерывно и беспорядочно движутся, подтверждается и другими многочисленными опытами. Рассмотрим один из них.

В стеклянный сосуд наливают водный раствор медного купороса. Этот раствор имеет тёмно-голубой цвет. Поверх раствора в сосуд очень осторожно, чтобы не смешать жидкости, наливают чистую воду. Плотность медного купороса больше плотности воды, и поэтому он остаётся внизу сосуда.

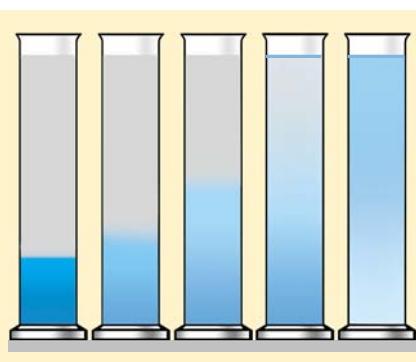


Рис. 2.8

В начале опыта между двумя жидкостями видна резкая граница. Оставим сосуд в покое. Через несколько дней можно заметить, что граница раздела между жидкостями расплылась. А недели через две эта граница вообще исчезнет, и в сосуде будет находиться однородная жидкость бледно-голубого цвета (рис. 2.8). Это означает, что жидкости перемешались.

### Запомните

Самопроизвольное перемешивание веществ называется диффузией.

Диффузия объясняется так (рис. 2.9). Сначала вследствие своего движения отдельные молекулы воды и медного купороса, находящиеся около границы между ними, обмениваются местами. Молекулы медного купороса попадают в нижний слой воды, а молекулы воды — в верхний слой раствора медного купороса. Граница между жидкостями из-за этого расплывается. Проникнув внутрь «чужой» жидкости, молекулы начинают обмениваться местами с её частицами, находящимися во всё более глубоких слоях. Граница раздела жидкостей становится ещё более расплывчатой. Благодаря непрерывному и беспорядочному движению молекул этот процесс приводит в конце концов к тому, что вся жидкость в сосуде становится однородной.

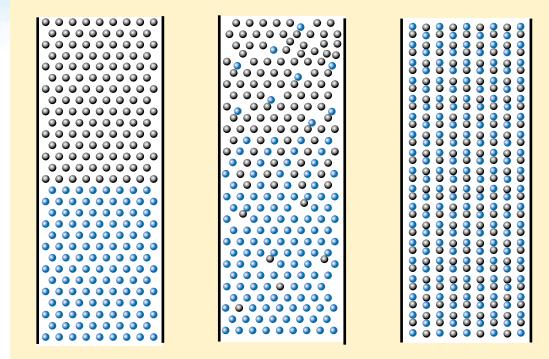


Рис. 2.9

**Важно** Явление диффузии объясняется непрерывным и беспорядочным движением частиц вещества. При диффузии частицы одного вещества проникают в промежутки между частицами другого вещества, и вещества перемешиваются.

**Диффузия в газах, жидкостях и твёрдых телах.** Диффузия может происходить и в газах, и в жидкостях, и в твёрдых телах.

Наиболее быстро диффузия происходит в газах (именно поэтому так быстро распространяется запах в воздухе).

В жидкостях диффузия происходит медленнее, чем в газах. Это объясняется тем, что молекулы жидкости расположены значительно плотнее, и потому «пробираться» через них труднее.

Медленнее всего диффузия происходит в твёрдых телах. В одном из опытов гладко отшлифованные пластины свинца и золота положили одна на другую и прижали грузом. Через пять лет золото и свинец проникли друг в друга на 1 мм.

**Диффузия и температура.** Скорость протекания диффузии увеличивается с ростом температуры. Это происходит потому, что с повышением температуры увеличивается скорость движения молекул. Чем выше температура вещества, тем быстрее происходит диффузия.

## ГЛАВА 2. Строение вещества

**Диффузия в нашей жизни.** Диффузия имеет большое значение в процессах жизнедеятельности человека, животных и растений. Например, именно благодаря диффузии кислород из лёгких проникает в кровь человека, а из крови — в ткани.



Учёные установили, что у водяного паука кожное дыхание преобладает над лёгочным. Брюшко паука покрыто бархатистыми волосками. При погружении в воду на этих волосках задерживается слой воздуха. Этим воздухом паук и дышит, находясь в воде.

Водяные пауки строят свои гнёзда в виде колокола, который заполняется принесённым на волосках воздухом. В колоколе паук может жить, не поднимаясь на поверхность до трёх недель. Функционирует воздушный колокол благодаря диффузии: через стенку воздушного пузыря в воду уходит возникающая при дыхании паука углекислота, а из воды в пузырь поступает кислород.



Положите на дно стакана крупинку марганцовки (перманганат калия) и сверху осторожно и медленно налейте холодную воду. Не перемешивая воду, определите, через какое время молекулы марганцовки попадут в верхний слой воды. Измерив высоту уровня воды, вычислите скорость протекания диффузии.



1. Каковы причины броуновского движения? 2. Объясните, как распространяется запах в комнате. Что доказывает это явление? 3. Что такое диффузия? 4. Опишите опыт, в котором наблюдают диффузию жидкостей. 5. Как объясняется явление диффузии? 6. Однаково ли быстро протекает диффузия в газах, жидкостях и твёрдых телах? Приведите примеры. 7. На каком явлении основана засолка овощей? 8. В какой воде — горячей или холодной — быстрее засолятся овощи? 9. Объясните, каким образом молекулы кислорода из воздуха попадают в воду рек, озёр и других водоёмов.

Броуновское движение. Диффузия

Найти



1. Можно ли наблюдать броуновское движение чаинок в стакане горячего чая?
2. На лабораторном столе случайно пролили эфир. Почему через некоторое время запах эфира стал отчётливо ощущаться в отдалённом углу комнаты?



Явление диффузии в жизни.

## § 8. Взаимодействие молекул

### Вспомните

- Из чего состоит вещество?

Твёрдые тела и жидкости не распадаются на отдельные молекулы, несмотря на то что их молекулы разделены промежутками и находятся в непрерывном беспорядочном движении.

**Взаимное притяжение молекул.** Более того, твёрдое тело, например, трудно растянуть или сжать. Чем же объяснить, что молекулы в телах не только удерживаются друг около друга, но и в некоторых случаях промежутки между ними трудно увеличить? Дело в том, что *между молекулами существует взаимное притяжение*. Каждая молекула притягивает к себе соседние молекулы и сама притягивается к ним.

Однако если мы разломим кусочек мела на две части и снова соединим их, то они уже не будут удерживаться друг около друга. Почему?

Притяжение между молекулами становится заметным лишь тогда, когда они находятся очень близко одна от другой. Уже на расстоянии, несколько большем размеров самих молекул, притяжение молекул значительно ослабевает и перестаёт проявляться. Ничтожно малой щели между частицами двух кусочков мела (меньше 0,000001 см) уже достаточно, чтобы притяжение между молекулами практически исчезло.

Почему же тогда слипаются куски пластилина? Именно потому, что их можно сблизить на такое расстояние, на котором большинство молекул начинает удерживаться силами притяжения друг около друга.

Соединяются и не разрываются даже при сравнительно большой нагрузке (рис. 2.10) и два куска свинца, очень плотно прижатые друг к другу свежими ровными срезами. И наоборот, кусочки разбитого стекла не соединяются друг с другом, потому что они соприкасаются только в некоторых точках и большинство их молекул оказывается на расстояниях, на которых притяжение молекул является слишком слабым.

Если, однако, края стеклянных осколков или кусков каких-либо металлов нагреть так, что они начнут плавиться, то при их соединении молекулы окажутся

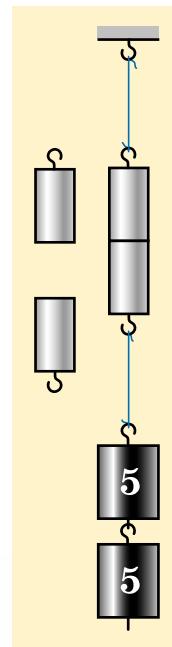


Рис. 2.10

## ГЛАВА 2. Строение вещества

в области действия сил притяжения, и куски соединяются. На этом основаны сварка металлов, а также спайка и склеивание.

### Запомните

Между молекулами существует взаимное притяжение. Это притяжение заметно проявляется лишь на расстояниях, которые сравнимы с размерами самих молекул.

**Взаимное отталкивание молекул.** Но тогда возникает вопрос: почему существуют промежутки между молекулами? Казалось бы, молекулы должны притянуться друг к другу и соединиться. Не происходит этого потому, что между молекулами одновременно с притяжением существует и отталкивание.

### Важно

При сближении молекул до расстояний, сравнимых с размерами самих молекул, сначала начинает проявляться притяжение, а при дальнейшем сближении — *отталкивание молекул*, которое начинает преобладать над притяжением.

Именно отталкиванием молекул друг от друга обусловлено то, что многие сжатые предметы распрямляются. При сжатии этих тел мы так сближаем их молекулы, что отталкивание оказывается сильнее их взаимного притяжения. Это и приводит к распрямлению пружин и других упругих тел.

Итак, частицы вещества взаимодействуют друг с другом. Это взаимодействие проявляется как в форме притяжения, так и в форме отталкивания.



- Почему твёрдые тела и жидкости не распадаются сами собой на отдельные молекулы?
- Почему два куска мела не соединяются в одно целое при соприкосновении, а два куска пластилина соединяются?
- Какие явления указывают на то, что молекулы тела могут отталкиваться друг от друга?

Взаимодействие молекул, притяжение молекул, отталкивание молекул

Найти



Сварка и склейка материалов с позиций молекулярного строения вещества.



- Клей и характеристики склеиваемых поверхностей

## § 9. СМАЧИВАНИЕ И КАПИЛЛЯРНОСТЬ

### Вспомните

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

Как показывают наблюдения, молекулы разных веществ притягиваются друг к другу с разной силой.

**Явление смачивания.** Пронаблюдаем это явление на опыте. Подвесим на тонкой пружине стеклянную пластину и поднесём к ней снизу сосуд с водой (рис. 2.11, а). Когда пластина коснётся воды, начнём поднимать её вместе с пружиной вверх. Мы увидим, что пластина как бы прилипла к воде и продолжает оставаться на её поверхности, несмотря на то что пружина растягивается всё сильнее и сильнее (рис. 2.11, б). Когда же конец пластины оторвётся от воды, на её нижней поверхности останется тонкая водяная плёнка (рис. 2.11, в). Наличие этого слоя на стекле говорит о том, что разрыв произошёл не в местах соприкосновения молекул воды с молекулами стекла, а там, где молекулы воды соприкасались друг с другом. Отсюда следует, что сила притяжения молекул воды друг к другу слабее силы притяжения молекул воды к молекулам стекла.

### Запомните

В тех случаях, когда молекулы жидкости притягиваются к молекулам твёрдого тела сильнее, чем друг к другу, жидкость растекается по твёрдому телу и образует на его поверхности тонкую плёнку. Растекание жидкости по поверхности твёрдого тела называют **смачиванием** этого тела.

Так, например, вода смачивает стекло, дерево, кожу и многие другие вещества.

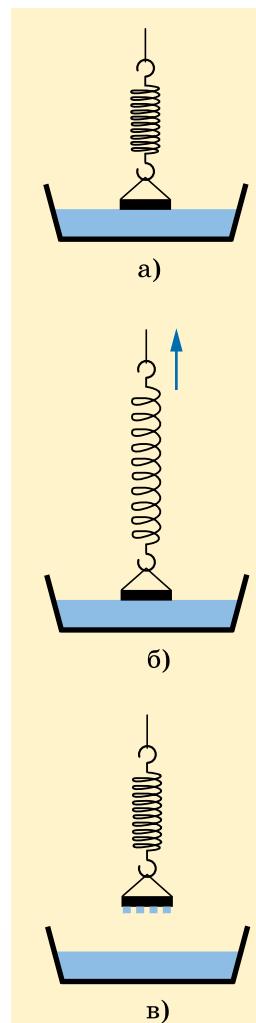


Рис. 2.11

## ГЛАВА 2. Строение вещества

Если, однако, опустить в воду пластины, изготовленную не из стекла, а, например, из воска или парафина, то, вынув эту пластину из воды, мы обнаружим её практически сухой. Это означает, что вода не смачивает воск и парафин. Вода преимущественно не смачивает также жирные поверхности.

### Важно

Несмачиваемость объясняется тем, что молекулы жидкости сильнее притягиваются друг к другу, чем к молекулам твёрдого тела.

Когда жидкость не смачивает твёрдое тело, она не растекается по его поверхности тонкой плёнкой, а собирается в круглые капельки (или шарики) образует, например, ртуть на стекле. Не смачивается ртутью и чугун. А вот золото и цинк ртутью смачиваются.

Смачивание влияет на то, какую форму принимает поверхность жидкости в месте соприкосновения с сосудом. Когда силы межмолекулярного притяжения в жидкости превышают силы притяжения молекул жидкости к стенкам сосуда, форма поверхности жидкости в месте соприкосновения становится выпуклой (рис. 2.12). Если же поверхность сосуда смачивается жидкостью, форма поверхности жидкости будет вогнутой.

**Смачивание в жизни человека и в природе.** Явления смачивания и несмачивания учитывают и используют на практике. Хорошее смачивание необходимо при крашении и стирке, обработке фотографических материалов, нанесении лакокрасочных покрытий, склеивании различных материалов и т. п.



Всем хорошо известно, что без мыла бывает трудно отмыть руки. При отмывании загрязнённой поверхности мыльным раствором поверхность тела лучше смачивается водой. Вода растекается по поверхности тела, вытесняя с неё частицы грязи.

Водоплавающие птицы смазывают при помощи клюва свои перья жиром, выделяемым особой железой. Поэтому их перья не смачиваются водой, а пух, находящийся под перьями, остается сухим. Благодаря этому птица не мёрзнет в холодной воде и удерживается на её

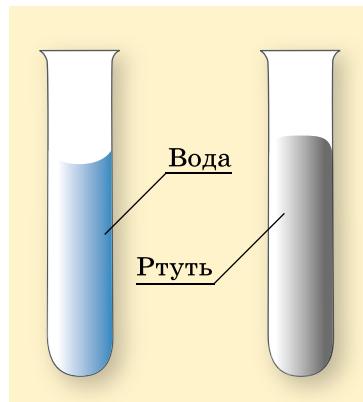


Рис. 2.12

поверхности. Очень опасны для птиц загрязнения воды нефтью. Нефть смачивает перья птиц, вода проникает в слой пуха, и птица, намокнув, может замёрзнуть и погибнуть.

**Капиллярность.** Смачиванием обусловлено и такое явление, как **капиллярность**. Заключается оно в том, что под действием молекуллярных сил смачивающая жидкость поднимается вверх по очень тонким трубкам (рис. 2.13), называемыми **капиллярами**. Латинское слово «*капиллус*» означает «волос». Отсюда и название тонких трубок — *капилляры*. Их диаметр составляет миллиметр и менее.

### Важно

Чем тоньше капилляр, тем на большую высоту в нём поднимается смачивающая его жидкость.

Если же жидкость не смачивает вещество, из которого состоит капилляр, она опускается по капилляру вниз.

**Капиллярные явления в природе.** В природе капилляры встречаются довольно часто. Многие из окружающих нас тел имеют пористое строение: они пронизаны множеством мелких, иногда незаметных для глаз капилляров. К таким телам относятся дерево, бумага, кожа, почва, ткань, вата, различные строительные материалы. Вода и другие смачивающие их жидкости, соприкасаясь с такими телами, «втягиваются» в их капилляры и начинают перемещаться по всем направлениям внутри тел. Именно поэтому так быстро намокают кусочки ваты (или сахара), едва коснувшись воды. По этой же причине влага легко проникает в обычные кирпичи, а керосин поднимается по фитилю керосиновой лампы.

Капиллярные явления играют существенную роль в водоснабжении растений и перемещении влаги в почве. В сухую погоду почва ссыхается, и в ней образуются трещины — капилляры. По ним вода поднимается из-под земли вверх и испаряется. Поверхность земли из-за этого высыхает ещё больше. Для сохранения влаги внутри земли верхний слой почвы разрыхляют. При этом капилляры разрушаются, и вода остаётся в почве.

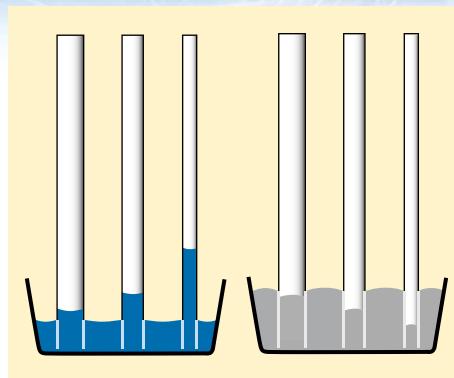


Рис. 2.13

## ГЛАВА 2. Строение вещества

И наоборот, когда почва слишком влажная, её прикатывают. Капилляры в ней делаются тоньше, и глубина, с которой поднимается по ним жидкость, увеличивается. Поднимаясь наверх, вода испаряется, и почва постепенно высыхает.



1. Опишите опыт, в котором наблюдается смачивание стекла водой.
2. Приведите примеры жидкостей, смачивающих и не смачивающих те или иные твёрдые тела.
3. Как объясняются явления смачивания и несмачивания на основе представления о взаимодействии молекул?
4. Почему маленькие капли росы на листьях некоторых растений имеют форму шариков, тогда как на листьях других растений роса растекается тонким слоем?
5. Для чего водоплавающие птицы смазывают свои перья жиром?
6. Что представляют собой капилляры?
7. Почему растекаются чернила при письме на бумаге плохого качества?
8. Почему мокрые руки плохо вытираются шёлковой тканью?
9. На чём основаны такие способы регулировки водного режима почвы, как прикатка и боронование?
10. Почему два сухих листочка бумаги не слипаются, если их приложить друг к другу, а смоченные водой слипаются?
11. Слипнутся ли два листочка бумаги, если один из них смочить водой, а другой — растильным маслом? Почему?

Смачивание, несмачивание. Капиллярность, капилляры

Найти



Капиллярность и смачиваемость в живой природе.



- Капилляры в стеблях и корнях растений
- Капилляры пронизывают почву
- Вода с растворёнными в ней питательными веществами распространяется по капиллярам
- Кровеносные капилляры человека и животных



Свойства различных тканей и бумаги, смачиваемые и несмачиваемые поверхности

# § 10. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

## Вспомните

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

Зимой вода на поверхности озёр и рек замерзает, превращаясь в лёд. Подо льдом вода остаётся жидкой (рис. 2.14). Здесь одновременно существуют два различных состояния воды — твёрдое (лёд) и жидкое (вода). Существует и третье состояние воды — газообразное: невидимый водяной пар находится в окружающем нас воздухе.

**Агрегатные состояния.** На примере воды мы видим, что *вещества могут находиться в трёх агрегатных состояниях — твёрдом, жидком и газообразном*.

Жидкую ртуть можно увидеть в резервуаре термометра. Над поверхностью ртути находятся её пары, которые представляют собой газообразное состояние ртути. При температуре  $-39^{\circ}\text{C}$  ртуть замерзает, переходя в твёрдое состояние.

Кислород в окружающем нас воздухе представляет собой газ. Но при температуре  $-193^{\circ}\text{C}$  он превращается в жидкость.

Охладив эту жидкость до  $-219^{\circ}\text{C}$ , мы получим твёрдый кислород. И наоборот, железо в обычных условиях твёрдое. Однако при температуре  $1535^{\circ}\text{C}$  железо плавится и превращается в жидкость. Над расплавленным железом будет находиться газ — пар из атомов железа.

**Физические свойства твёрдых тел.** Свойства вещества в различных агрегатных состояниях различны.

## Важно

*Твёрдое тело в обычных условиях трудно сжать или растянуть. В отсутствие внешних воздействий оно сохраняет свою форму и объём.*

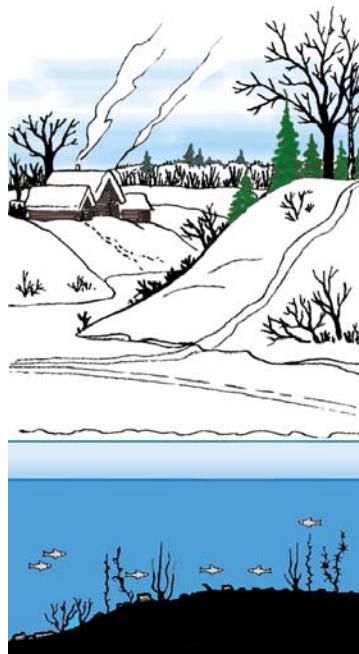


Рис. 2.14

## ГЛАВА 2. Строение вещества

**Физические свойства жидкостей.** Жидкость легко меняет свою форму. В обычных условиях она принимает форму сосуда, в котором находится (рис. 2.15). Поверхность жидкости, не соприкасающейся со стенками сосуда, горизонталь-

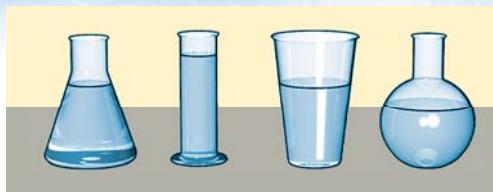


Рис. 2.15

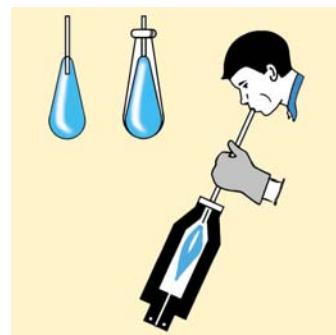


Рис. 2.16

на. Но в состоянии невесомости (например, на орбитальной космической станции) жидкость характеризуется своей собственной — шарообразной — формой. Сферическую форму (форму шарика) имеют и маленькие дождевые капельки.

Свойство жидкости легко изменять свою форму учитывают, когда изготавливают посуду из расплавленного стекла (рис. 2.16).

Форму жидкости изменить легко, но объём её изменить трудно.



Сохранилось описание одного исторического опыта, в котором воду пробовали сжать таким способом. Её налили в свинцовый шар и шар запаяли, чтобы вода не могла выливаться при сжатии. После этого ударили по свинцовому шару тяжёлым молотом. И что же? Вода не сжалась вместе с шаром, а просочилась сквозь его стенки в виде мельчайших капелек.

### Важно

Жидкости легко меняют свою форму, но сохраняют свой объём.

**Физические свойства газов.** Чтобы исследовать свойства газов, не обязательно располагать газом, имеющим цвет. Воздух, например, бесцветен, и мы его не видим. Но при быстром движении, находясь у окна автомобиля или поезда, а также когда дует ветер, мы замечаем присутствие воздуха вокруг нас. Его можно обнаружить и при помощи опытов.

Опустим в воду перевёрнутый вверх дном стакан — вода не заполнит стакан, так как в нём останется воздух. Если опускать в воду во-

ронку, соединённую резиновым шлангом со стеклянной трубкой (рис. 2.17), то воздух начнёт выходить из неё наружу.

Объём газа изменить нетрудно. Нажав на резиновый мяч, мы заметно уменьшим объём воздуха, находящегося в мяче.

Попав в какой-либо сосуд или помещение, газ заполняет его целиком, принимая как его форму, так и объём.

### Важно

*Газ не имеет своего собственного объёма и не обладает собственной формой. Он всегда заполняет весь предоставленный ему сосуд.*

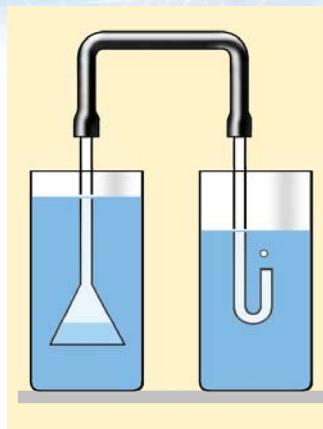


Рис. 2.17

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

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



1. В каких трёх агрегатных состояниях может находиться вещество? Приведите примеры.
2. Тело сохраняет свой объём, но легко меняет форму. В каком состоянии находится это тело?
3. Тело сохраняет свою форму и объём. В каком состоянии находится это тело?
4. Что вы можете сказать о свойствах газа?

Агрегатные состояния вещества.  
Газ, жидкость, твёрдое тело

Найти



Если смешать 100 мл воды и 100 мл спирта, то объём смеси получится не 200 мл, а меньше. Чем объясняется данное явление? Означает ли это, что вода и спирт являются легко сжимаемыми веществами?



Удивительные свойства воды в различных агрегатных состояниях.

## § 11. СТРОЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

### Вспомните

- В каких агрегатных состояниях может находиться вещество?
- Каковы свойства твёрдых тел, жидкостей и газов?

Наблюдения и опыты показывают нам, как различаются свойства твёрдых, жидких и газообразных тел.

**Чем различается строение твёрдых тел, жидкостей и газов.** Знания о строении вещества помогут объяснить их свойства.

Лёд, вода и водяной пар — три агрегатных состояния одного и того же вещества — воды. Значит, молекулы льда, воды и водяного пара не отличаются друг от друга. Следовательно, *эти три состояния различаются не молекулами, а тем, как эти молекулы расположены, как движутся и как взаимодействуют*.

Как же расположены и как движутся молекулы газа, жидкости и твёрдого тела?

**Молекулярное строение газов.** Газ можно сжать так, что его объём уменьшится в несколько раз.

### Важно

Значит, в газах расстояние между молекулами много больше размеров самих молекул. В обычных условиях расстояния между молекулами газов в десятки и сотни раз больше размеров самих молекул. На таких расстояниях молекулы очень слабо притягиваются друг к другу.

По этой причине газы не имеют собственной формы и постоянного объёма. Нельзя заполнить газом, например, половину бутылки или стакана, так как, двигаясь во всех направлениях и почти не притягиваясь друг к другу, молекулы газа быстро заполнят весь сосуд.

**Молекулярное строение жидкостей.** Свойства жидкостей обусловливаются тем, что промежутки между их молекулами малы.

### Важно

Молекулы в жидкостях упакованы так плотно, что расстояния между соседними молекулами сравнимы с размерами самих молекул или даже меньше их размеров. На таких расстояниях притяжение молекул друг к другу уже значительно.

Поэтому молекулы жидкости не расходятся на большие расстояния, и жидкость в обычных условиях сохраняет свой объём. Однако притяжение молекул жидкости ещё не настолько велико, чтобы жидкость сохраняла свою форму. Этим объясняется то, что жидкости в условиях действия силы тяжести принимают форму сосуда, в котором находятся, и то, что их легко разбрьзгать и перелить в другой сосуд.

Сжимая жидкость, мы сближаем её молекулы настолько, что они начинают отталкиваться друг от друга. Вот почему жидкость так трудно сжать.

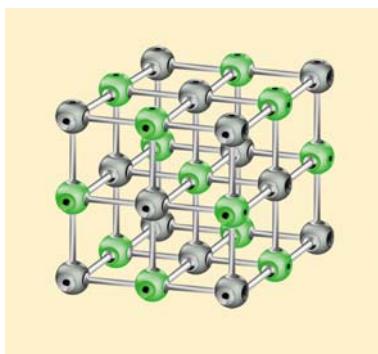
**Молекулярное строение твёрдых тел.** *Твёрдые тела* в обычных условиях сохраняют и объём, и форму. Это объясняется тем, что притяжение между их частицами значительно больше, чем у жидкостей.

### Важно

Частицы (молекулы или атомы) большинства твёрдых тел, таких как лёд, соль, алмаз, металлы, расположены в определённом порядке. Такие твёрдые тела называют *кристаллическими*. Частицы этих тел находятся в движении, а именно колеблются около определённых положений равновесия.



Кристалл соли



Модель кристаллической решётки

Частицы не могут уйти далеко от этих положений, поэтому твёрдое тело сохраняет свою форму и объём.

На рисунке 2.18 показано расположение молекул одного и того же вещества — воды в трёх разных состояниях: твёрдом (а), жидком (б)

## ГЛАВА 2. Строение вещества

и газообразном (в). Различие в расположении и движении молекул в этих состояниях объясняет различие в свойствах льда, воды и водяного пара.

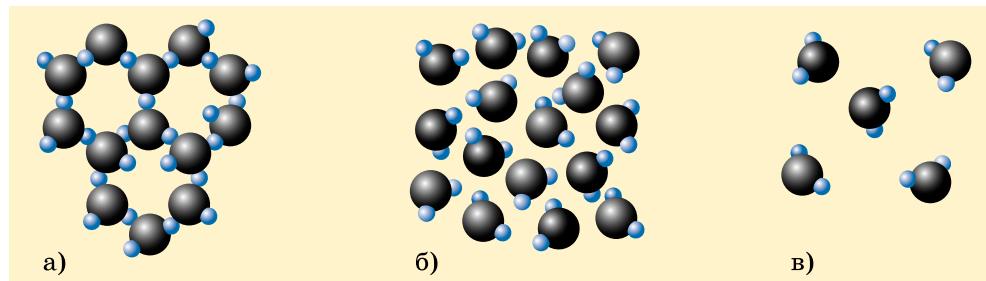


Рис. 2.18

### Запомните

Подведём итоги. При изучении строения вещества было установлено, что:

- 1) все вещества состоят из мельчайших частиц (молекул, атомов и др.), между которыми есть промежутки;
- 2) частицы вещества непрерывно и беспорядочно движутся;
- 3) частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

Эти три положения называют **основными положениями молекулярно-кинетической<sup>1</sup> теории** строения вещества.



1. Различаются ли молекулы льда, воды и водяного пара? 2. Чем различаются расположение, движение и взаимодействие молекул воды в твёрдом, жидком и газообразном состояниях? 3. Почему газ заполняет весь предоставленный ему сосуд? 4. Чем обусловливается очень малая сжимаемость жидкостей? 5. Почему кристаллические тела сохраняют свою форму и объём? 6. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории.

Молекулярное строение газов, жидкостей и твёрдых тел

Найти

<sup>1</sup> От греческого слова «кинема» — движение.



- Физические свойства твёрдых тел, жидкостей и газов
- Плавание (температура воды, размеры бассейна)
- Лыжи (температура снега)
- Отличие искусственного снега от натурального
- Бег (температура окружающего воздуха)
- Влияние количества водяных паров в воздухе на дыхание спортсменов

## ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ

Прочитайте текст. Запомните, что означают выделенные в тексте слова. Подготовьтесь рассказать о прочитанном своими словами. Приведите примеры, иллюстрирующие сказанное.

Физическая теория о строении и свойствах вещества называется молекулярно-кинетической теорией. Основные положения этой теории: 1. Все тела состоят из частиц, между которыми есть промежутки. 2. Частицы вещества (молекулы, атомы и др.) непрерывно и беспорядочно движутся. 3. Частицы вещества взаимодействуют между собой (притягиваются и отталкиваются).

Многие физические явления (диффузия, измельчение веществ, растворение вещества в воде, изменение объёма тела, смачивание, капиллярность и др.) доказывают **основные положения молекулярно-кинетической теории**.

**Молекулы** состоят из атомов. Молекулы очень малы. Молекулы одного и того же вещества одинаковы.

Тела могут находиться в твёрдом, жидком и газообразном состояниях. **Твёрдое тело** при неизменных внешних воздействиях сохраняет форму и объём, **жидкость** сохраняет объём и легко меняет форму, **газ** не имеет собственных формы и объёма, полностью заполняет сосуд, в котором находится. Состояния вещества различаются расположением, движением и взаимодействием его частиц.

# ГЛАВА 3

## Движение и взаимодействие тел

### § 12. Механическое движение

#### Вспомните

- Какие основные единицы СИ вы знаете?

Одним из самых простых физических явлений является механическое движение тел. Кто из вас не наблюдал, как движется автомобиль, летит самолёт, идут люди и т. п.!

**Движется или покойится тело.** Если спросить, движется ли сейчас здание, в котором вы находитесь, вы, наверное, ответите, что нет. И будете не правы!

А движется ли самолёт, который вы видите в небе? Если вы уверены, что он движется, то снова заблуждаетесь! Но если вы скажете, что он покойится, то и в этом случае ваш ответ не будет верным.

**Механическое движение.** Как же определить, движется то или иное тело или нет? Для этого нужно сначала понять, что такое механическое движение.

#### Запомните

**Механическим движением** тела называется процесс изменения его положения в пространстве с течением времени относительно какого-либо другого тела, выбранного за тело отсчёта.

*Тело отсчёта* — это тело, относительно которого рассматривается положение остальных тел.

Тело отсчёта выбирают произвольно. Им может быть Земля,здание, автомобиль, теплоход и т. п.

#### Относительность движения.

#### Важно

Чтобы судить о том, движется тело или нет, надо сначала выбрать тело отсчёта, а затем определить, меняется ли со временем положение рассматриваемого тела относительно выбранного тела отсчёта. При этом тело может как двигаться относительно одного какого-либо тела отсчёта, так и не двигаться по отношению к другому телу отсчёта.

Например, человек, сидящий в поезде, движется относительно полотна железной дороги, но находится в покое относительно вагон-

на поезда. Лежащий на земле камень покойится относительно Земли, но движется (вместе с Землёй) относительно Солнца. Самолёт в небе движется относительно облаков, но покойится относительно сидящего в кресле пилота.

Вот почему, не указав тело отсчёта, нельзя говорить о том, движется данное тело или нет. Без указания тела отсчёта любой данный вами ответ будет лишён смысла. Покоится ли здание, в котором вы сейчас находитесь? Ответ на этот вопрос зависит от выбора тела отсчёта. Если телом отсчёта является Земля, то да, покоится. Но если телом отсчёта является проезжающий мимо здания автомобиль, то относительно него здание движется.

**Размеры тела при описании движения.** Какую роль играют размеры тела при описании его движения? В некоторых случаях без указания размеров тела и его частей обойтись нельзя. Когда, например, автомобиль въезжает в гараж, то размеры гаража и автомобиля для его владельца будут играть достаточно важную роль. Но есть много таких ситуаций, когда размеры тела неважны. Если, например, тот же автомобиль движется из Москвы в Санкт-Петербург и требуется рас-считать время движения автомобиля, то нам будет безразлично, каковы у него размеры.

### Важно

Если размеры тела много меньше расстояний, характерных для рассматриваемого в задаче движения, то размерами тела пренебрегают и тело представляют в виде **материальной точки**.

Словом «материальная» подчёркивается её отличие от геометрической точки. Геометрическая точка не обладает никакими физическими свойствами. Материальная же точка может обладать массой, электрическим зарядом и некоторыми другими характеристиками.

Иногда, говоря о механическом движении частиц, мы будем использовать термин «тело», но при этом не следует забывать, что это



Рис. 3.1

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

тело рассматривается в таких условиях, когда его можно принять за материальную точку.

**Траектория.** Перемещаясь из одного места в другое, материальная точка движется по некоторой линии.

### Запомните

Линию на плоскости или в пространстве, по которой движется материальная точка, называют **траекторией**.

Траектории могут иметь разную форму. О форме траектории иногда удается судить по видимому следу, оставленному движущимся телом. Такие следы иногда оставляют пролетающие самолёты или проносящиеся в ночном небе метеоры (рис. 3.1).

### Важно

Форма траектории зависит от выбора тела отсчёта.

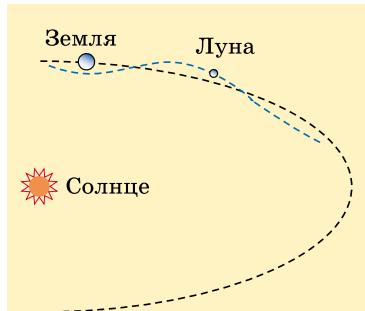


Рис. 3.2

Например, относительно Земли траектория движения Луны представляет собой окружность, а относительно Солнца — линию более сложной формы (рис. 3.2).

*В дальнейшем движение всех тел (если не оговорено противоположное) мы будем рассматривать относительно Земли.*

**Путь.** Траектории движения разных тел могут отличаться друг от друга не только формой, но и длиной.

### Запомните

Длина траектории, по которой двигалось тело в течение данного промежутка времени, называется **пройденным путём**.

На рисунке 3.3 штриховой линией показана траектория лыжника, прыгающего с трамплина. Длина траектории *OA* есть путь, пройденный лыжником за время спуска с горы.

**Важно**

Когда измеряют путь, используют единицу пути. Единицей пути является единица длины — **метр (1 м)**.

На практике применяют и другие единицы длины, например:

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м},$$

$$1 \text{ дм} = 0,1 \text{ м},$$

$$1 \text{ см} = 0,01 \text{ м},$$

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}.$$



Положите линейку на фломастер, как показано на рисунке 3.4. Постарайтесь двигать линейку так, чтобы фломастер катился по столу без скольжения.

Сравните путь, пройденный фломастером, и путь, пройденный концом линейки, обозначенным буквой А. Объясните полученный результат.

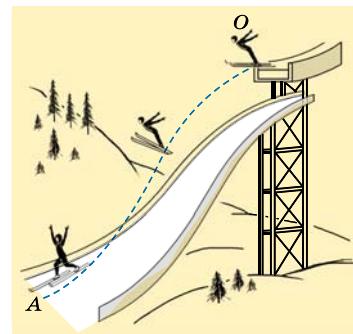


Рис. 3.3

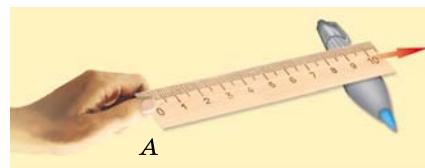


Рис. 3.4



1. Что такое механическое движение?
2. Какое тело называют телом отсчёта?
3. Почему нужно указывать, относительно какого тела отсчёта происходит движение?
4. В каких случаях тело можно рассматривать как материальную точку?
5. Что такое траектория?
6. Чем отличается путь от траектории?
7. Что на самом деле движется: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли?
8. Кто находится в движении: пассажир, едущий в автобусе, или человек, стоящий у автобусной остановки?
9. Можно ли считать материальной точкой земной шар?

Механическое движение. Относительность движения.  
Материальная точка. Траектория, форма траектории. Путь

Найти



Относительность движения.

## § 13. Скорость

### Вспомните

- Что такое траектория?
- Что такое путь?
- Какие вы знаете единицы пути?

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

**Равномерное движение.** Проделаем опыт. Установим на тележку капельницу (рис. 3.5). Из капельницы через одинаковые промежутки времени падают капли окрашенной жидкости. Если присоединить к тележке груз (как показано на рисунке 3.5), то можно подобрать его таким, что расстояния между следами, оставленными каплями на бумаге (при движении тележки), окажутся равными. Это означает, что тележка за одинаковые промежутки времени проходит равные пути.

Повернув кран капельницы так, чтобы капли падали чаще, повторим опыт. Следы капель и в этом случае оказываются на равных расстояниях друг от друга, хотя и меньших, чем в первом опыте. А это значит, что и за меньшие одинаковые промежутки времени тележка проходит одинаковые пути.

### Запомните

Если какое-либо тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути, то его движение называют **равномерным**.

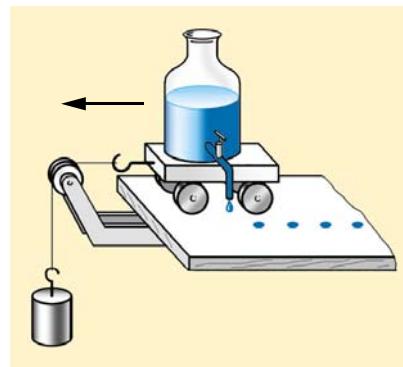


Рис. 3.5

**Скорость.** Быстроту движения характеризуют физической величиной, называемой скоростью. Известно, что самолёт движется быстрее автомобиля, а искусственный спутник Земли — быстрее самолёта.

**Запомните**

**Скорость** тела при равномерном прямолинейном движении показывает, какой путь проходит тело за единицу времени.

Например, если за каждый час пешеход проходит 3 км, а самолёт пролетает 900 км, то говорят, что скорость пешехода 3 км/ч, а скорость самолёта 900 км/ч.

Если же известно, что тот же пешеход за каждые два часа проходит 6 км, то для того чтобы узнать, какой путь он проходит за 1 ч, следует эти 6 км разделить на 2 ч. При этом мы снова получим 3 км/ч.

**Запомните**

Чтобы определить скорость тела при равномерном прямолинейном движении, надо пройденный телом путь разделить на время движения, т. е.

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

Обозначим все величины, входящие в это выражение, латинскими буквами:

$s$  — путь,  $v$  — скорость,  $t$  — время.

Тогда формулу для нахождения скорости можно представить в следующем виде:

$$v = \frac{s}{t}. \quad (13.1)$$

**Единицы скорости.****Важно**

В СИ за единицу скорости принимают скорость такого равномерного движения, при котором движущееся тело за 1 с проходит путь, равный 1 м. Эту единицу обозначают  $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  или  $1 \text{ м/с}$  (читается «метр в секунду»).

На практике часто применяют другую единицу скорости: 1 км/ч. Найдём связь между разными единицами скорости. Так как  $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$ , а  $1 \text{ ч} = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ с}$ , то мы можем записать:

$$1 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{10}{36} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Рассмотрим пример. Пусть требуется выразить скорость самолёта, равную 720 км/ч, в метрах в секунду. Переводя километры в метры, а час в секунды, получаем

$$720 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 720 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

При равномерном прямолинейном движении числовое значение скорости не изменяется. Если, например, скорость тела равна 60 км/ч, то это значение будет оставаться таким же на протяжении всего времени движения.



В мореходной практике используют специальную единицу скорости, которая называется **узел**. Узел — это скорость такого движения, при котором тело проходит за 1 ч одну морскую милю. Одна морская миля составляет 1852 м. Однако на практике существуют разные определения морской мили, соответственно и узел может иметь разные значения. По международному определению

$$1 \text{ узел} = 1,852 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 0,5144444 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Современные морские суда способны развивать скорость около 40 узлов, т. е. свыше  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

**Направление скорости.** Но, кроме своего числового значения, скорость имеет и своё направление. Поэтому на рисунках скорость тела изображают в виде стрелки (рис. 3.6). Стрелка указывает направление скорости, а следовательно, и движения тела.

### Важно

Величины, которые, кроме числового значения, имеют ёщё и направление, называют **векторными величинами** или просто **векторами**. Числовое значение векторной величины называется **модулем вектора**.



Рис. 3.6

**Важно**

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

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

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

Такие величины, как масса, путь, объём, векторами не являются: они не имеют направления в пространстве и характеризуются лишь числовым значением. Такие физические величины называют **скалярными**.

**Как найти путь и время движения, зная скорость.** Зная скорость и время равномерного движения тела, можно вычислить пройденный телом путь. Из формулы (13.1) следует, что

**Запомните**

$$s = vt. \quad (13.2)$$

Чтобы найти путь, пройденный при равномерном движении, надо скорость тела умножить на время движения.

Если же известны путь и скорость, то можно найти время движения. Из формулы (13.2) получаем

**Запомните**

$$t = \frac{s}{v}. \quad (13.3)$$

Чтобы найти время движения, надо путь, пройденный телом, разделить на его скорость.



В астрономии применяют единицу длины, в основе которой лежит скорость света. **Световой год** — это путь, проходимый светом за один год. Учитывая, что скорость света в вакууме равна  $299\ 792\ 458 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , можно посчитать, что световой год равен  $9\ 460\ 528\ 177\ 426,82$  км (примерно  $9,5 \cdot 10^{15}$  м).

Для измерения расстояний внутри планетных систем иногда используют такие единицы, как **световая секунда** и **световая минута**, равные расстояниям, которые свет проходит в вакууме за 1 с и 1 мин соответственно. Например, от Солнца до Земли свет доходит примерно за 500 с. В таком случае можно говорить, что расстояние от Солнца до Земли равно 500 св. секундам.

**Графики зависимости пути и скорости от времени.** Путь, пройденный телом, и скорость его движения с течением времени могут изменяться. Для большей наглядности эти изменения часто изображают графически.

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

График зависимости скорости от времени при равномерном движении — это прямая, параллельная оси абсцисс (рис. 3.7). Действительно, с течением времени скорость при таком движении остаётся постоянной.

График зависимости пути, пройденного телом, от времени при прямолинейном равномерном движении — это прямая, расположенная в первой четверти координатной плоскости и проведённая из начала координат (рис. 3.8). Действительно, при движении тела с постоянной скоростью с течением времени путь, пройденный телом, увеличивается. Причём эта зависимость прямая, так как она описывается уравнением  $s = vt$ .

**Решение задач.** 1. За 10 мин заяц-русак пробегает путь 10 км. Определите его скорость (в Международной системе единиц — СИ).



Дано:

$$t = 10 \text{ мин}$$

$$s = 10 \text{ км}$$

СИ

$$600 \text{ с}$$

$$10\,000 \text{ м}$$

$$v = ?$$

... м/с

Решение:

$$v = \frac{s}{t}, \quad v = \frac{10\,000 \text{ м}}{600 \text{ с}} \approx 16,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $v \approx 16,7 \text{ м/с}$ .

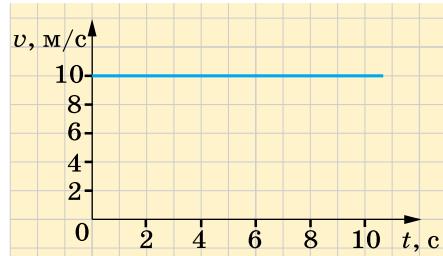


Рис. 3.7

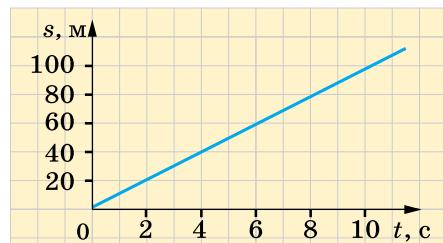


Рис. 3.8

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

**2.** Свет со скоростью  $c = 300\ 000$  км/с доходит от Солнца до Земли за 8 мин 20 с. Какой путь проходит свет?

Дано:  
 $t = 8 \text{ мин } 20 \text{ с}$   
 $c = 300\ 000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

---

$s — ?$

|    |   |
|----|---|
| СИ | $500 \text{ с}$                           |
|    | $300\ 000\ 000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ |

---

$\dots \text{ м}$

Решение:  
 $s = vt, v = c, s = ct;$   
 $s = 300\ 000\ 000 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 500 \text{ с} =$   
 $= 150\ 000\ 000\ 000 \text{ м} =$   
 $= 150\ 000\ 000 \text{ км}.$

Ответ:  
 от Солнца до Земли свет проходит путь 150 млн км.



Возьмите заводную игрушку (или мячик). Подберите приборы (которые есть у вас дома) для измерения длины и времени. Приведите игрушку в движение. Измерьте путь, пройденный игрушкой после того, как закончится разгон, и до того, как начнётся торможение. Измерьте время, за которое этот путь пройден. Найдите скорость игрушки, считая её движение на выбранном участке траектории равномерным. Изобразите на рисунке и опишите словами ход выполнения задания. Запишите результаты измерений и вычислений.



**1.** Какое движение называют равномерным? **2.** Что показывает скорость равномерного движения? **3.** Как определяется скорость при равномерном движении? **4.** Как находится пройденный путь, если известны скорость и время движения? **5.** Как находится время движения, если известны путь и скорость движения? **6.** Какие величины называют векторными? Как их изображают на рисунках?

Равномерное движение. Скорость. Скорость света

Найти



Известно, что тело за каждую последующую секунду проходит одинаковые пути. Можно ли на основании этого утверждать, что тело движется равномерно?



- Время, необходимое для прохождения дистанции спортсменом
- Влияние скорости и направления ветра на бег, метание мяча и др.

## § 14. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ

### Вспомните

- Какое движение тела называется равномерным?
- Что такое путь?
- Что такое скорость?
- Каковы единицы скорости?
- Как определить скорость тела при равномерном движении?

В окружающем нас мире мы крайне редко сталкиваемся с равномерным движением. На одних участках тела могут иметь меньшую скорость, на других — большую.

**Скорости движения в природе.** В таблице 2 приведены значения некоторых скоростей, встречающихся в природе.

Таблица 2

| Скорость движения, м/с |        |                           |             |
|------------------------|--------|---------------------------|-------------|
| Улитка                 | 0,0014 | Звук в воздухе (при 0 °C) | 331         |
| Муха                   | 5      | Луна вокруг Земли         | 1000        |
| Скворец                | 20     | Земля вокруг Солнца       | 30 000      |
| Страус                 | 22     | Свет и радиоволны         | 300 000 000 |

**Неравномерное движение.** Не все указанные в таблице 2 движения являются равномерными. Лишь звук, свет и радиоволны при определённых условиях распространяются с постоянной скоростью. Скорости остальных тел меняются в процессе движения. Поэтому для них указаны средние или наибольшие значения скоростей, которые могут быть достигнуты этими телами.

### Запомните

Движение, при котором тело за одинаковые промежутки времени проходит разные пути, называется **неравномерным**.

**Средняя скорость.** Неравномерные движения характеризуются **средней скоростью**. Средняя скорость неравномерного движения находится так же, как и скорость равномерного движения, т. е. пройденный телом путь делится на время движения:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}.$$

**Важно**

Пусть известно, что тело прошло путь  $s_1$  за время  $t_1$ , потом, изменив скорость, прошло путь  $s_2$  за время  $t_2$  и затем, изменив скорость, прошло путь  $s_3$  за время  $t_3$ . Тогда для нахождения средней скорости движения тела следует весь путь, пройденный телом, как сумму путей на отдельных участках траектории, разделить на полное время движения, как сумму промежутков времени движения на отдельных участках траектории, т. е.

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

Полученное при этом значение может не совпадать со скоростью движения тела на отдельных участках траектории. При неравномерном движении тело на одних участках имеет меньшую скорость, на других — большую. Например, поезд, отходящий от станции, начинает двигаться всё быстрее и быстрее. Подъезжая к станции, он, наоборот, замедляет своё движение.



**Решение задач.** Автомобиль проезжает первые 2 км пути за 3 мин, а последующие 10 км за 7 мин. Определите среднюю скорость автомобиля на всём пути.

Дано:

$$s_1 = 2 \text{ км}$$

$$t_1 = 3 \text{ мин}$$

$$s_2 = 10 \text{ км}$$

$$t_2 = 7 \text{ мин}$$

$$v_{\text{ср}} = ?$$

СИ

$$2000 \text{ м}$$

$$180 \text{ с}$$

$$10000 \text{ м}$$

$$420 \text{ с}$$

$$\dots \text{ м/с}$$

Решение:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t},$$

$$s = s_1 + s_2 = 2000 \text{ м} + 10000 \text{ м} = 12000 \text{ м},$$

$$t = t_1 + t_2 = 180 \text{ с} + 420 \text{ с} = 600 \text{ с},$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{12000 \text{ м}}{600 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ:  $v_{\text{ср}} = 20 \text{ м/с}.$



1. Какое движение называют неравномерным? 2. Как находится средняя скорость? 3. Может ли отличаться скорость тела на отдельном участке пути от его средней скорости движения и если да, то почему?

Неравномерное движение. Средняя скорость

Найти



- Средняя скорость живых существ (гепарда, кролика, черепахи и др.)
- Догонит ли хищник жертву
- Средняя скорость человека (идущего пешком, бегуна, лыжника, пловца и др.)

## § 15. УСКОРЕНИЕ

### Вспомните

- Какое движение называют равномерным?
- Какое движение называют неравномерным?
- Что такое скорость?

При неравномерном движении значение скорости тела изменяется. Если скорость тела увеличивается, то такое движение называют ускоренным. Если же скорость тела уменьшается, то такое движение называют замедленным.

**Равноускоренное движение.** Проделаем опыт. Установим на тележку капельницу, из которой через одинаковые промежутки времени падают капли окрашенной жидкости. Поместим эту тележку на наклонную доску и отпустим. Мы увидим, что расстояние между следами, оставленными каплями, по мере движения тележки вниз будет становиться всё больше и больше (рис. 3.9). Это означает, что за равные промежутки времени тележка проходит неодинаковые пути. Тело движется всё быстрее. Скорость тележки возрастает. Причём, как можно доказать, за одни и те же промежутки времени скорость тележки, съезжающей по наклонной доске, возрастает всё время на одну и ту же величину.

### Запомните

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

**Ускорение.** В физике существует величина, характеризующая изменение скорости тела при равноускоренном движении. Так, напри-

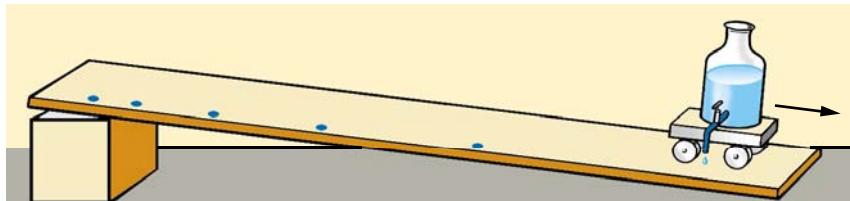


Рис. 3.9

мер, опытами установлено, что скорость падающего тела при отсутствии сопротивления воздуха за каждую секунду возрастает примерно на 9,8 м/с, т. е. если вначале тело поколось, то через секунду после начала падения оно будет иметь скорость 9,8 м/с, ещё через секунду — 19,6 м/с, ещё через секунду — 29,4 м/с и т. д.

**Запомните**

Физическая величина, показывающая, насколько изменяется скорость тела за единицу времени при равноускоренном движении, называется **ускорением**:  $a$  — ускорение.

**Запомните**

Для того чтобы вычислить ускорение при равноускоренном движении, необходимо найти отношение изменения скорости ко времени, в течение которого это изменение произошло:

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

т. е. от значения конечной скорости  $v$  нужно отнять значение начальной скорости  $v_0$  и полученный результат разделить на рассматриваемое время движения:

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

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

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

**Единицы ускорения.** За единицу ускорения в СИ принимают такое ускорение, при котором за каждую секунду скорость тела изменяется на 1 м/с, т. е. на метр в секунду за секунду. Эту единицу обозначают 1 м/с<sup>2</sup> и называют «один метр на секунду в квадрате».

Ускорение характеризует быстроту изменения скорости. Если, например, ускорение тела равно 10 м/с<sup>2</sup>, то это означает, что за каждую секунду скорость тела изменяется на 10 м/с, т. е. в 10 раз быстрее, чем при ускорении 1 м/с<sup>2</sup>.

**Примеры ускорений.** Примеры ускорений, встречающихся в нашей жизни, можно найти в таблице 3.

Таблица 3

| Ускорения                          |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Пригородный электропоезд           | 0,6 м/с <sup>2</sup>     |
| Троллейбус при движении с места    | 1,2 м/с <sup>2</sup>     |
| Пассажирский самолёт при разбеге   | 1,7 м/с <sup>2</sup>     |
| Ракета при запуске спутника        | 60 м/с <sup>2</sup>      |
| Пуля в стволе автомата Калашникова | 600 000 м/с <sup>2</sup> |



**Решение задач.** С каким ускорением должен затормозить локомотив, движущийся со скоростью 54 км/ч, чтобы через 30 с остановиться?

|                         |                      |  |
|-------------------------|----------------------|--|
| Дано:                   | СИ                   | Решение:   |
| $v_0 = 54 \text{ км/ч}$ | 15 м/с               | $a = \frac{v - v_0}{t} = -\frac{v_0}{t},$  |
| $v = 0$                 |                      | $a = -\frac{15}{30} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = -0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$ |
| $t = 30 \text{ с}$      | 30 с                 |  |
| $a = ?$                 | ... м/с <sup>2</sup> | Ответ: $a = -0,5 \text{ м/с}^2.$   |



1. Какое движение называют равноускоренным? 2. Как определить ускорение тела при равноускоренном движении? 3. Каковы единицы ускорения в СИ и могут ли существовать другие единицы ускорения?

Неравномерное движение.

Равноускоренное движение, ускорение

Найти



Как достичь скорости света?



- Ускорение спортсмена на старте и перед финишем

## § 16. Инерция

### Вспомните

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

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

**Зависимость характера движения тела от воздействия на него.** Очевидно, лежащий на земле мяч начнёт двигаться тогда, когда на него налетит другой мяч или по нему ударят ногой. В отсутствие действия других тел мяч не придёт в движение относительно земли и будет продолжать оставаться на своём месте.

### Важно

Тело, покоящееся относительно Земли, будет сохранять своё состояние покоя до тех пор, пока его не выведут из этого состояния другие тела.

Уменьшение скорости движущегося тела и его остановка тоже не происходят сами собой. Для этого также нужно действие других тел. Например, скорость пули, пробивающей доску, уменьшается благодаря действию на неё доски; катящийся мяч останавливается вследствие трения о землю и т. п.



Рис. 3.10

Изменение направления скорости также происходит под действием каких-либо тел. Например, брошенный мяч меняет направление своего движения при ударе о стену или руку. Быстро бегущий человек, чтобы обогнуть дерево, хватается за него рукой (рис. 3.10).

### Важно

Для изменения скорости тела относительно Земли необходимо действие других тел.

**При каком условии тело движется равномерно.** А нужно ли воздействие других тел для поддержания скорости тела неизменной?



В IV в. до н. э. древнегреческий учёный Аристотель писал, что «всё движущееся необходимо бывает движимо чем-то». Аристотель полагал, что для поддержания движения тела необходимо постоянное действие какого-либо другого тела. Например, для того чтобы телега двигалась, её постоянно должна тянуть лошадь. Перестанет тянуть — телега остановится. Причина движения кроется в действии, оказываемом на данное тело каким-либо другим телом, — так считали Аристотель и его последователи.

Научное наследие Аристотеля огромно. Оно состоит из многочисленных работ по логике, физике, философии, биологии, психологии, истории, эстетике, этике, политике и др. Александр Македонский, которому довелось учиться у Аристотеля, так отзывался о своём учителе: «Я чту Аристотеля наравне с моим отцом, потому что если отцу я обязан жизнью, то Аристотелю — всем тем, что даёт ей цену».

Авторитет Аристотеля был настолько высок, что его взгляды на причины движения тел оставались господствующими в науке на протяжении двух тысяч лет! И лишь в XVII в., в основном благодаря исследованиям итальянского учёного Галилео Галилея, выяснилось, что взгляды Аристотеля на причины движения ошибочны.

Было установлено, что равномерное и прямолинейное движение тела может происходить и в отсутствие действия на него каких-либо других тел.

Почему же тогда останавливается телега, которую перестаёт тянуть лошадь? Она останавливается не потому, что не способна двигаться сама по себе, а потому, что её движению мешает трение о землю, т. е. потому, что земная поверхность действует на телегу. Если бы сопротивления движению не было, то телега продолжала бы двигаться с постоянной скоростью и без лошади. Кстати, одним из первых, кто это понял, был современник Аристотеля китайский философ Мо-цзы.



Аристотель  
(384—322 до н. э.)

Уже тогда он писал: «Если нет противодействующей силы, движение никогда не приостановится. Это так же верно, как то, что бык не лошадь». Однако учение этого философа просуществовало недолго. Уже во II в. до н. э. оно было полностью забыто.

Рассмотрим следующий опыт. На столе наклонно установлена доска. На поверхности стола насыпан песок. На наклонную доску ставят тележку и отпускают. Тележка, скатившись на стол и попав в песок, быстро останавливается (рис. 3.11, а). Причина остановки — сопротивление, оказываемое песком.

Уменьшим сопротивление, выровняв песок. Съехав с прежней высоты, тележка теперь, прежде чем остановиться, проедет дальше, чем в первый раз (рис. 3.11, б). Если совсем убрать песок, то до остановки тележка пройдёт ещё больший путь (рис. 3.11, в).

### Важно

Следовательно, чем меньше действие другого тела на тележку, тем медленнее изменяется скорость её движения, тем ближе её движение к равномерному.

**Движение по инерции.** Как же будет двигаться тело, если на него совсем не будут действовать другие тела? Ответ на этот вопрос дал Галилей. Он писал: «Когда тело движется по горизонтальной плоскости, не встречая никакого сопротивления движению, то... движение его является равномерным и продолжалось бы бесконечно, если бы плоскость простиралась в пространстве без конца».

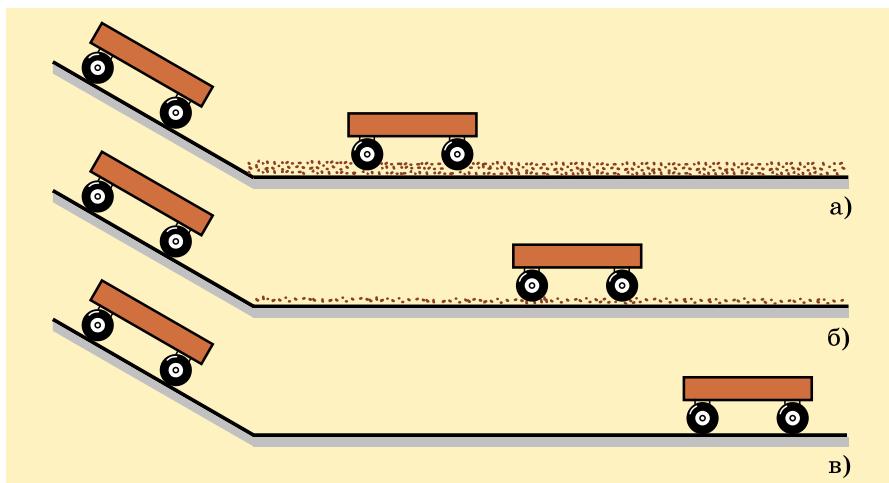


Рис. 3.11



Рис. 3.12

Свой вывод Галилей обосновал следующим образом: «При движении по наклонной плоскости вниз наблюдается ускорение, а при движении вверх — замедление. Отсюда следует, что движение по горизонтали является неизменным, ибо... оно ничем не ослабляется, не замедляется и не ускоряется» (рис. 3.12).

**Запомните**

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

Движение тела при отсутствии действия других тел называют **движением по инерции**.



Галилео Галилей  
(1564—1642)

**Важно**

Любое тело, выведенное какими-то телами из состояния покоя, после прекращения действия этих тел продолжает двигаться по инерции.

**Примеры движения по инерции.** Движение по инерции мы наблюдаем постоянно и настолько к нему привыкли, что часто даже не замечаем его. Например, при резком торможении автобуса пассажиры в течение короткого времени продолжают по инерции своё движение и наклоняются вперёд. Когда же автобус неожиданно трогается с места, пассажиры по инерции продолжают оставаться в покое и в первый момент отклоняются назад.

Инерция объясняет невозможность мгновенной остановки автомобиля, даже если водитель резко нажал на тормоза. Если человек бежит достаточно быстро, он не способен остановиться мгновенно, по инерции он сделает ещё хотя бы несколько шагов.

В земных условиях из-за трения и сопротивления среды движение по инерции наблюдать нельзя, даже если рассматривать движение по

гладкой горизонтальной поверхности. На Земле нет тел, на которые не действовали бы другие тела. Но в течение некоторого времени, пока внешним воздействием на тело можно пренебречь или если внешнее воздействие мало, движение тела происходит по инерции. Например, движение автомобиля после выключения двигателя продолжается, но его скорость становится всё меньше и меньше, и через некоторое время он останавливается. Пока скорость автомобиля практически не изменялась, можно считать его движение движением по инерции. Замедление и остановка происходят из-за действия дороги на автомобиль. После вылета из винтовки пуля некоторое время движется по инерции, но из-за сопротивления воздуха и её скорость постепенно уменьшается.

В отсутствие действия других тел движение является равномерным и прямолинейным, т. е. происходит со скоростью, которая не меняется ни по значению, ни по направлению. Именно так по инерции, например, двигалась бы ракета вдали от всех небесных тел после выключения двигателей. Она продолжала бы лететь с той скоростью, которая была ей сообщена до этого.

**Причины изменения скорости.** Повседневный опыт показывает, что если на катящийся мяч никак не воздействовать, он в конце концов остановится. Если велосипедист прекращает крутить педали, то скорость велосипеда начинает снижаться, и он через некоторое время остановится. Нет ли здесь противоречия с законом инерции? Противоречия нет. Это происходит потому, что движению тела оказывает сопротивление воздух, трение о поверхность и т. д. В противном случае тела двигались бы по инерции, т. е. равномерно и прямолинейно. При взаимодействии тел скорость может изменяться как по значению, так и по направлению. Например, при игре в теннис мяч меняет направление движения после удара ракеткой по нему. **Изменение скорости тела происходит в результате действия на него другого тела.**



1. Какое движение называют движением по инерции?
2. Приведите примеры движений, которые можно считать движением по инерции.
3. Рассматривая движение тела по абсолютно гладкой поверхности (без трения), Галилей пришёл к выводу, что «если после падения тела по любой наклонной плоскости наступает подъём, то... оно поднимается до той же степени возвышения или высоты над горизонтом... и притом не только в том случае, когда плоскости имеют одинаковый наклон, но и в том, когда они образуют разные углы». К какому следствию можно прийти, если про-

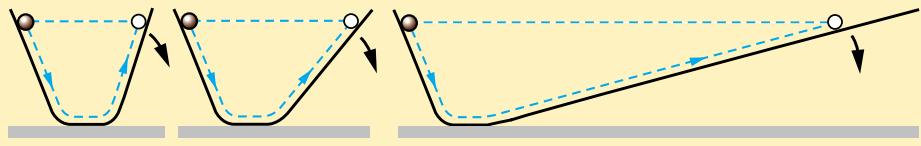


Рис. 3.13

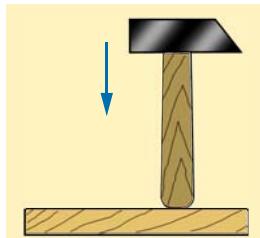


Рис. 3.14

должить эти рассуждения, опираясь на рисунок 3.13? 4. На одном из банкетов полковник Циллергут, персонаж романа Я. Гашека «Похождения бравого солдата Швейка», рассказал среди прочих следующую историю: «Когда кончился бензин, автомобиль вынужден был остановиться. Это я тоже сам вчера видел. А после этого ещё болтают об инерции, господа!.. Ну не смешно ли?» Противоречит ли история, рассказанная полковником Циллергутом, представлению об инерции? Почему?

5. На рисунке 3.14 показан способ насаживания молотка на рукоятку. Объясните его.

6. В какую сторону падает споткнувшийся человек? поскользнувшийся человек? Почему?

7. Как изменилась скорость движения вагонов, изображённых на рисунках 3.15, а и 3.15, б: увеличилась или уменьшилась?

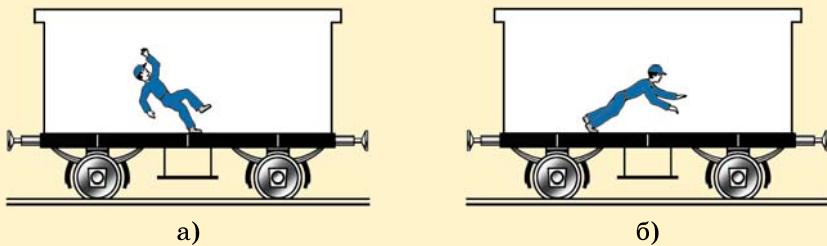


Рис. 3.15

Инерция, движение по инерции. Аристотель. Галилей

Найти



Почему при прополке сорняков их не следует выдергивать из земли рывком?



Инерция в жизни и технике.

# § 17. Взаимодействие тел. Масса

## Вспомните

- Каким будет результат, если на тело не действуют другие тела?
- Что такое инерция?

Когда мы говорим, что первое тело действует на второе, то и второе тело, по-видимому, как-то действует на первое. Поэтому принято говорить о взаимодействии тел.

**Взаимодействие тел и изменение их скорости.** Проделаем опыт. На рисунке 3.16, а изображена тележка с прикреплённой к ней упругой пластиной. Пластина согнута и связана нитью. Тележка находится в покое относительно стола. Начнёт ли она двигаться, если пластина выпрямится? Для ответа на этот вопрос пережжём нить. Пластина резко выпрямляется, но тележка остаётся на прежнем месте (рис. 3.16, б).

Теперь поставим рядом с первой тележкой вторую (рис. 3.17, а). После пережигания нити обе тележки приходят в движение и разъезжаются в противоположные стороны. Давайте одновременно с пережиганием нити включим секундомер. Измерим пути, пройденные тележками

за короткий промежуток времени, до выключения секундомера. Согласно опыту, пройденные тележками пути оказываются разными (рис. 3.17, б). Это означает, что в процессе выпрямления пластины тележки приобрели разные скорости. При прочих равных условиях больший путь пройдёт та тележка, которая начала движение с большей скоростью. Например, скорость левой тележки за время распрямления пластины могла возрасти от 0 до 40 см/с, а скорость

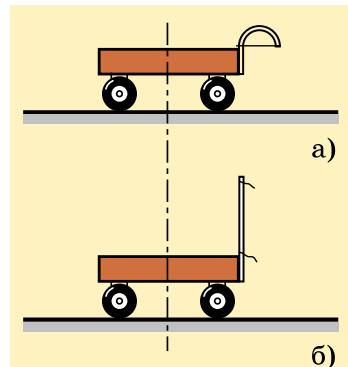


Рис. 3.16

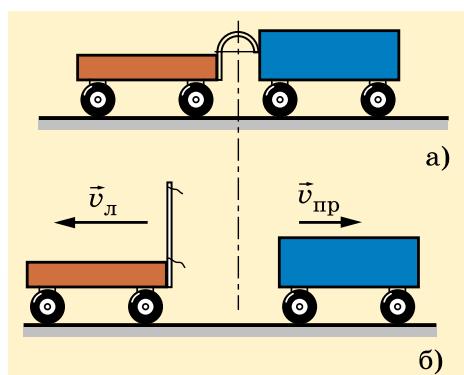


Рис. 3.17

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

правой тележки — от 0 до 20 см/с. Это означает, что в течение того времени, пока тележки расталкивались упругой пластиной, скорость левой тележки изменялась в 2 раза быстрее, чем скорость правой.

Причиной изменения скоростей тележек послужило их действие друг на друга.

### **Важно**

Действие тел друг на друга называют **взаимодействием**.

В результате взаимодействия скорости обоих взаимодействующих тел изменяются, причём у разных тел они изменяются по-разному.

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

**Инертность и масса.** Про тело, которое при взаимодействии медленнее изменяет свою скорость, говорят, что оно **более инертно** и имеет **большую массу**. А про тело, которое при этом быстрее изменяет свою скорость, говорят, что оно **менее инертно** и имеет **меньшую массу**.

### **Важно**

**Масса** является физической величиной, характеризующей такое свойство тела, как инертность. Чем более инертно тело, тем больше его масса.

Понятие массы будет раскрываться по мере дальнейшего изучения физики. Пока же нужно запомнить, что каждое тело — человек, стол, Земля, капля воды — обладает массой.

Сравнивать массы тел можно по изменениям их скоростей при взаимодействии друг с другом.

### **Важно**

Если два тела при взаимодействии друг с другом изменяют свои скорости одинаково, то их массы равны. Если же их скорости изменяются по-разному, то и массы у них различны.

В рассмотренном выше опыте (см. рис. 3.17) скорость левой тележки изменилась в 2 раза больше, чем скорость правой. Отсюда следует, что масса левой тележки в 2 раза меньше массы правой тележки.

**Единицы массы.** За единицу массы в СИ принят **килограмм** (1 кг). Международный образец (эталон, или прототип) килограмма хранит-

ся во Франции, в г. Севре. Эталон массы изготовлен из платиново-иридевого сплава и имеет форму цилиндра диаметром и высотой около 39 мм (рис. 3.18). С этого эталона изготовлены копии для других стран. В России, например, находится прототип килограмма № 12, в США — № 20.

На практике используются также и другие единицы массы — **тонна, грамм, миллиграмм** и т. д.:  $1\text{ т} = 1000\text{ кг}$ ,  $1\text{ г} = 0,001\text{ кг}$ ,  $1\text{ мг} = 0,000001\text{ кг}$ .

**Способы определения массы.** Существуют разные способы определения массы. Способ определения массы тела по изменению его скорости при взаимодействии применяется в обыденной жизни нечасто. Самый распространённый и самый древний способ определения массы — это *взвешивание*.

Изображения весов можно найти даже на египетских пирамидах, возраст которых составляет более четырёх тысяч лет!



Кстати, правильному взвешиванию и аккуратному обращению с весами всегда придавалось большое значение. Например, в одной из древнерусских грамот XII в. указывалось, что за неправильное пользование мерами и весами следует «казнить близко смерти, а имущество делить на три части: часть Софийской церкви, часть Ивановской и часть сотским и Новгороду».

Конструкции весов очень разнообразны.



Рис. 3.18

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

На рисунке 3.19 изображены *учебные весы*, позволяющие взвешивать предметы массой от 10 мг до 200 г. Для определения массы в иных пределах используют другие весы. Например, вагоны и автомашины взвешивают на *транспортных весах*, рассчитанных на нагрузку до 200 т, а тела, имеющие массу порядка 1 мг и меньше, — на так называемых *аналитических весах*. Сегодня широкое применение находят также *электронные весы*.

Массу тел, недоступных взвешиванию (например, массу Земли, Солнца, а также мельчайших частиц вещества — атомов и молекул), определяют иными способами — путём измерения скоростей, а также других физических величин, входящих вместе с массой в различные законы физики.



- Что называют взаимодействием?
- В каком случае тело называют более инертным, а в каком — менее инертным?
- Характеристикой какого свойства тела является масса?
- Какая из тележек, изображённых на рисунке 3.17, имеет большую массу? Ответ обоснуйте.
- Как называется единица массы в СИ?
- Что представляет собой эталон массы?
- Человек выпрыгивает из неподвижной лодки на берег. В каком случае скорости, полученные при этом лодкой и человеком, будут одинаковыми? В каком случае больше будет скорость, приобретённая человеком?
- Какие способы определения массы вы знаете? В каких случаях они применяются?

Взаимодействие тел. Инертность.  
Масса, весы, как определить массу тела

Найти



- Причины изменения скорости. История открытия.
- История килограмма.
- Может ли изменяться масса?
- Можно ли определить массу звезды?



Рис. 3.19

## § 18. Плотность вещества

### Вспомните

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

Тела, изготовленные из разных веществ, при одинаковых объёмах имеют разные массы. Например, куб железа объёмом 1 м<sup>3</sup> имеет массу 7800 кг, а свинец того же объёма — 13 000 кг.

### Плотность.

### Запомните

Физическую величину, показывающую, чему равна масса вещества в единице объёма (т. е., например, в одном кубическом метре или в одном кубическом сантиметре), называют **плотностью вещества**.

Чтобы выяснить, как найти плотность данного вещества, рассмотрим следующий пример. Известно, что льдина объёмом 2 м<sup>3</sup> имеет массу 1800 кг. Тогда 1 м<sup>3</sup> льда будет иметь массу, в 2 раза меньшую. Разделив 1800 кг на 2 м<sup>3</sup>, получим 900 кг/м<sup>3</sup>. Это и есть плотность льда.

### Запомните

Чтобы определить плотность вещества, надо массу тела разделить на его объём:

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

Обозначим величины, входящие в это выражение, буквами:  $m$  — масса тела,  $V$  — объём тела,  $\rho$  — плотность тела ( $\rho$  — греческая буква «ро»).

Тогда формулу для вычисления плотности можно записать в следующем виде:

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

**Единицы плотности.** Единицей плотности в СИ является *килограмм на кубический метр* (1 кг/м<sup>3</sup>). На практике плотность вещества выражают также в *граммах на кубический сантиметр* (1 г/см<sup>3</sup>). Для установления связи между этими единицами учтём, что

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

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

Поэтому

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



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

Плотность вещества можно определить, умножив массу одной молекулы на их количество, содержащееся в 1 м<sup>3</sup>. Современные приборы позволяют достаточно точно определить массу одной молекулы. Используя это значение, а также зная массу единицы объёма вещества, можно определить количество молекул в единице объёма. Таким способом определено, что в 1 м<sup>3</sup> чистой воды содержится  $3,34 \cdot 10^{28}$  молекул.

Молекулы одного и того же вещества находятся на разном расстоянии друг от друга в газообразном, жидком и твёрдом агрегатных состояниях. Их количество в единице объёма сильно различается, следовательно, будет различаться и плотность. Это объясняет, например, почему плотность вещества в жидком состоянии превышает его плотность в газообразном состоянии.

---

**Плотности вещества при различных агрегатных состояниях.** Плотность одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях различна. Например, плотность воды равна 1000 кг/м<sup>3</sup>, льда — 900 кг/м<sup>3</sup>, а водяного пара (при 0 °С и нормальном атмосферном давлении) —  $\approx 5 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>. Плотности других веществ приведены в таблицах Приложения.



Обычно плотность вещества в твёрдом состоянии больше плотности этого же вещества в жидком состоянии. Например, плотность олова в твёрдом состоянии равна 7300 кг/м<sup>3</sup>, а плотность расплавленного олова составляет 6800 кг/м<sup>3</sup>. Это означает, что при переходе вещества из жидкого состояния в твёрдое его объём уменьшается. Но существует ряд веществ, у которых плотность в жидком состоянии больше плотности в твёрдом состоянии. Например, плотность воды равна 1000 кг/м<sup>3</sup>, а плотность льда равна 900 кг/м<sup>3</sup>, т. е. при замерзании воды её объём увеличивается. Таким же свойством обладает чугун и металл висмут.



**Решение задач.** Самое лёгкое дерево — бальза. Масса его дре-весины объёмом 0,001 м<sup>3</sup> равна 120 г. Чему равна плотность бальзы (в СИ)?

Дано: СИ  
 $V = 0,001 \text{ м}^3$        $0,001 \text{ м}^3$   
 $m = 120 \text{ г}$                $0,12 \text{ кг}$

$\rho = ?$               ... кг/м<sup>3</sup>

Решение:  
 $\rho = \frac{m}{V}$ ,  
 $\rho = \frac{0,12 \text{ кг}}{0,001 \text{ м}^3} = 120 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Ответ:  $\rho = 120 \text{ кг/м}^3$ .



- Что показывает плотность?
- Как определить плотность вещества, зная массу тела и его объём?
- Какие единицы плотности вы знаете? Как они соотносятся друг с другом?
- Три кубика — из мрамора, льда и латуни — имеют одинаковый объём. Какой из них имеет наибольшую массу, какой — наименьшую?
- Два кубика — из золота и серебра — имеют одинаковую массу. Какой из них имеет больший объём?
- У какого из цилиндров, изображённых на рисунке 3.20, большее плотность?
- Масса каждого из тел, изображённых на рисунке 3.21, равна 1 т. У какого из них меньше плотность?

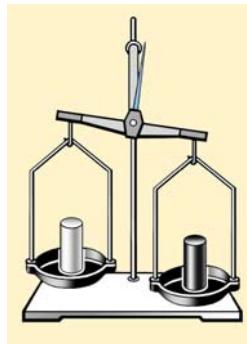


Рис. 3.20

Плотность вещества, единицы плотности. Масса. Объём

Найти



Что тяжелее: 1 л морской воды или 1 л озёрной воды, взятой при той же температуре?



- Плотность твёрдых веществ
- Выбор необходимых материалов для изготовления орудий труда и охоты древними людьми



- Плотности различных горных пород и их применение

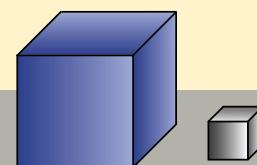


Рис. 3.21

## § 19. РАСЧЁТ МАССЫ И ОБЪЁМА ТЕЛА

### Вспомните

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

Для того чтобы определить плотность вещества, надо массу тела разделить на его объём:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (19.1)$$

### Способы определения объёма тела.

Массу тела можно определить с помощью весов. А как найти объём тела?

Если тело имеет форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 3.22), то его объём находится по формуле

$$V = abc.$$

Если же у тела какая-либо другая форма, то его объём можно найти методом, который был открыт древнегреческим учёным Архимедом в III в. до н. э.



Архимед родился в Сиракузах на острове Сицилия. До нас дошли не все сочинения Архимеда. О многих его открытиях стало известно благодаря более поздним авторам, в сохранившихся трудах которых описываются его изобретения. Так, например, римский архитектор Витрувий (I в. до н. э.) в одном из своих сочинений рассказал следующую историю: «Что касается Архимеда, то изо всех его многочисленных и разнообразных открытий то открытие, о котором я расскажу, представляется мне сделанным с безграничным остроумием.

Во время своего царствования в Сиракузах Гиерон после благополучного окончания всех своих мероприятий дал обет пожертвовать в какой-то храм золотую корону бессмертным богам. Он условился с мастером о большой цене за работу и дал ему нужное

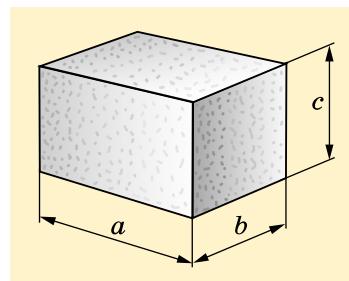


Рис. 3.22



Архимед  
(287—212 до н. э.)

по весу количество золота. В назначенный день мастер принёс свою работу царю, который нашёл её отлично исполненной; после взвешивания вес короны оказался соответствующим выданному весу золота.

После этого был сделан донос, что из короны была взята часть золота и вместо него примешано такое же количество серебра. Гиерон разгневался на то, что его провели, и, не находя способа уличить мастера в воровстве, попросил Архимеда хорошенъко подумать об этом. Тот, погружённый в думы по этому вопросу, как-то случайно пришёл в баню и там, опустившись в ванну, заметил, что из неё вытекает такое количество воды, каков объём его тела, погруженного в ванну. Выяснив ценность этого факта, он, недолго думая, выскочил с радостью из ванны, пошёл домой... и громким голосом сообщал всем, что он нашёл то, что искал. Он бежал и кричал одно и то же по-гречески: «Эврика, эврика!» («Нашёл, нашёл!»)

Затем, пишет Витрувий, Архимед взял сосуд, доверху наполненный водой, и опустил в него золотой слиток, равный по весу короне. Измерив объём вытесненной воды, он снова наполнил сосуд водой и опустил в него корону. Объём воды, вытесненной короной, оказался больше объёма воды, вытесненной золотым слитком. Большой объём короны означал, что в ней присутствует менее плотное, чем золото, вещество. Поэтому опыт, проделанный Архимедом, показал, что часть золота была похищена.

Итак, для определения объёма тела, имеющего неправильную форму, достаточно измерить объём воды, вытесняемой данным телом. С помощью измерительного цилиндра это сделать несложно.

В тех случаях, когда известны масса и плотность тела, его объём можно найти по формуле, вытекающей из формулы (19.1):

### Запомните

$$V = \frac{m}{\rho}. \quad (19.2)$$

Отсюда видно, что для определения объёма тела надо массу этого тела разделить на его плотность.

**Как найти массу тела, зная его объём и плотность.** Если, наоборот, объём тела известен, то, зная, из какого вещества оно состоит, можно найти его массу:

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

$$m = \rho V. \quad (19.3)$$

Чтобы определить массу тела, надо плотность тела умножить на его объём.



**Решение задач.** 1. Длина точильного бруска равна 30 см, ширина — 5 см, толщина — 2 см. Масса бруска 1,2 кг. Определите плотность вещества, из которого сделан брускок.

Дано:

$$a = 30 \text{ см}$$

$$b = 5 \text{ см}$$

$$c = 2 \text{ см}$$

$$m = 1,2 \text{ кг}$$

СИ

$$0,3 \text{ м}$$

$$0,05 \text{ м}$$

$$0,02 \text{ м}$$

$$1,2 \text{ кг}$$

Решение:

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

$$V = 0,3 \text{ м} \cdot 0,05 \text{ м} \cdot 0,02 \text{ м} = 0,0003 \text{ м}^3,$$

$$\rho = \frac{1,2 \text{ кг}}{0,0003 \text{ м}^3} = 4000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$\rho — ?$$

$$\dots \text{кг}/\text{м}^3$$

$$\text{Ответ: } \rho = 4000 \text{ кг}/\text{м}^3$$

2. При изготовлении электрической лампы из неё откачали воздух так, что масса оставшегося в лампе воздуха стала в 8 млн раз меньше первоначальной. Как при этом изменилась плотность воздуха в лампе?

Дано:

$$\frac{m_{\text{кон}}}{m_{\text{нач}}} = \frac{1}{8\,000\,000}$$

Решение:

$$m = \rho V, m_{\text{нач}} = \rho_{\text{нач}} V, m_{\text{кон}} = \rho_{\text{кон}} V,$$

$$\frac{m_{\text{кон}}}{m_{\text{нач}}} = \frac{\rho_{\text{кон}} V}{\rho_{\text{нач}} V} = \frac{\rho_{\text{кон}}}{\rho_{\text{нач}}} ; \quad \frac{\rho_{\text{кон}}}{\rho_{\text{нач}}} = \frac{1}{8\,000\,000}.$$

$$\frac{\rho_{\text{кон}}}{\rho_{\text{нач}}} — ?$$

Ответ: плотность воздуха в лампе уменьшилась в 8 млн раз.



Возьмите кусок мыла, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда, на котором обозначена его масса. Проделав необходимые измерения, определите плотность мыла.



1. Какие способы определения объёма вы знаете? 2. Что вам известно об Архимеде? 3. Как можно найти массу тела по его плотности и объёму?

Плотность вещества. Масса.

Объём, как определить объём тела

Найти



Взвешивание, определение массы и объёма продуктов при приготовлении пищи

# § 20. Сила

## Вспомните

- Что такое взаимодействие тел?
- В каком случае тело движется равномерно, а в каком — неравномерно?

Мы знаем, что скорость тела относительно Земли изменяется тогда, когда на него действуют другие тела. Проиллюстрируем это новыми примерами.

**Взаимодействие тел и понятие силы.** Толкая вагонетку (рис. 3.23), её приводят в движение. В этом случае скорость вагонетки изменяется под действием руки человека.

Опустим на воду пробку, на которой лежит железная скрепка. Магнит, притягивая скрепку, приводит её и пробку в движение (рис. 3.24). В этом случае магнит — то тело, которое изменяет скорость скрепки и пробки.

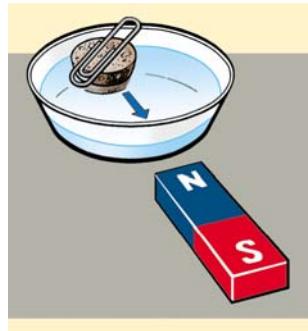


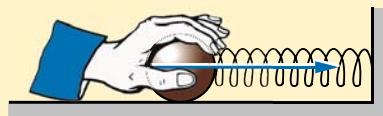
Рис. 3.24

При действии руки на шар (рис. 3.25, а) витки пружины начинают двигаться, и пружина сжимается. Отпустив её, мы увидим, как пружина, распрямляясь, разгоняет шар (рис. 3.25, б). В качестве действующего тела рассматривается сначала рука человека, затем пружина.

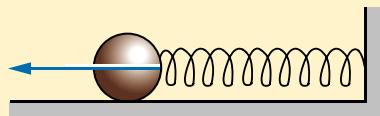
Во всех приведённых примерах *причиной изменения скорости тела является действие, оказываемое на него другими телами*.



Рис. 3.23



а)



б)

Рис. 3.25

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

Характеристикой этого действия является векторная физическая величина, называемая силой.

### Важно

Когда одно тело действует на другое, то говорят, что на тело **действует сила** или к нему **приложена сила**. Силу обозначают латинской буквой  $\vec{F}$ .

Если нам не важно, что привело в движение мяч, а важно, что при воздействии силы мяч приобрёл скорость, то в данном случае мы говорим, что *сила — это причина изменения скорости движения тела*.

Как и другие векторные величины, сила характеризуется не только **числовым значением**, но и своим **направлением**. Стрелки, изображённые на рисунках 3.23—3.25, как раз и указывают это направление.

Если сила к телу не приложена ( $F = 0$ ), то это означает, что никакого действия на него не оказывается, и потому скорость такого тела относительно Земли не изменяется. Если же, наоборот, сила  $F \neq 0$ , то тело испытывает некоторое воздействие, и его скорость изменяется.

При этом, чем больше сила  $F$ , тем значительнее изменяется скорость тела относительно Земли.

Сила, действующая на тело, может изменить не только скорость всего тела, но и взаимное расположение отдельных его частей. Например, под действием силы происходят сжатие пружины, изгиб упругого стального стержня и другие изменения формы и размеров тел. Тогда говорят, что тело **деформируется**. **Деформацией** называют любое изменение формы и размеров тела.

**Физическая величина — сила.** В зависимости от силы удара мяч приобретает разную скорость. В зависимости от силы удара молотком гвоздь входит в доску на разную глубину. Значит, силу можно измерить, а её значение выразить численно. Результат действия силы будет зависеть от её значения. Таким образом, **сила характеризует взаимодействие тел**.

Сила, как и скорость, является векторной величиной. Это значит, что она характеризуется не только числовым значением (модулем), но и направлением.

Предположим, человек начинает двигать тележку с продуктами (рис. 3.26). Хотя силы,

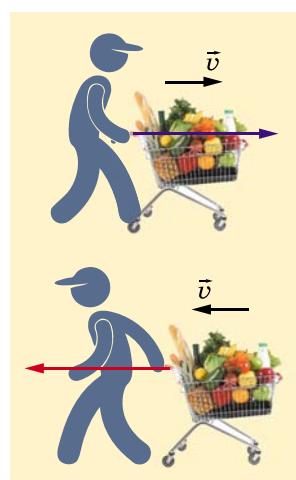


Рис. 3.26

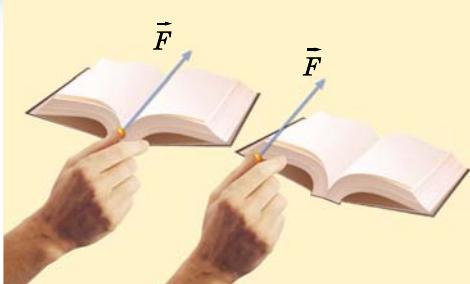


Рис. 3.27

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

Когда говорят о силе, действующей на тело, важно указывать не только её направление и значение,

**но и точку приложения.** Если мы двигаем книгу по столу, прикладывая силу, то результат зависит от того, в какую точку книги мы надавим пальцем (рис. 3.27). Хотя и по числовому значению, и по направлению силы одинаковы, характер движения тела различен. Это означает, что *результат действия силы на тело зависит от точки приложения силы*.

**Запомните**

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

**Единицы силы.** Единицей силы в СИ является *ньютон* (1 Н).

**Важно**

1 Н — это сила, которая за 1 с изменяет скорость тела массой 1 кг на 1 м/с.

Эта единица названа в честь великого английского учёного И. Ньютона. На практике применяются также *килоньютоны* и *миллиニュтоны*:

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



- Что является причиной изменения скорости тел? Приведите примеры.
- Что характеризует сила?
- Что можно сказать о скорости тела, к которому не приложена никакая сила ( $F = 0$ )?
- Как называется единица силы?



Исаак Ньютон  
(1642—1727)

Сила. Взаимодействие тел. Единица силы. Исаак Ньютон

Найти

## § 21. Сила тяжести

### Вспомните

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?

Почему мяч, брошенный в горизонтальном направлении (рис. 3.28), через некоторое время оказывается на земле? Почему камень, выпущенный из рук (рис. 3.29), падает вниз? Почему прыгнувший вверх человек вскоре снова оказывается внизу?

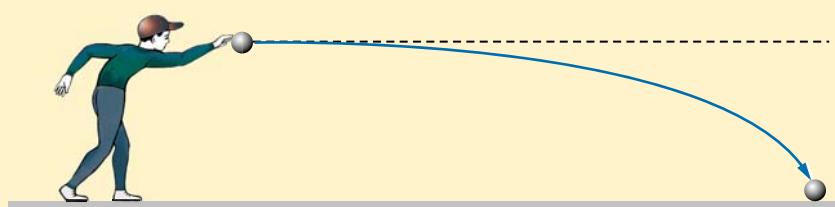


Рис. 3.28

**Сила тяжести.** У всех этих явлений одна и та же причина — притяжение Земли. Земля притягивает к себе все тела: людей, деревья, воду, дома, Луну и т. п.

### Запомните

Сила притяжения к Земле называется **силой тяжести**. Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз. Обозначается она так:

$$\vec{F}_t \text{ — сила тяжести.}$$

Когда тело под действием притяжения к Земле падает вниз, на него действует не только Земля, но и сопротивление воздуха. В ряде случаев силой сопротивления воздуха, действующей на тело, можно пренебречь.

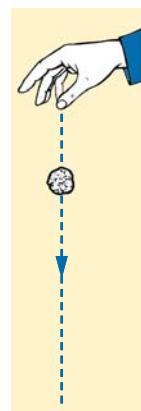


Рис. 3.29

**Свободное падение.** Когда сила сопротивления воздуха пренебрежимо мала по сравнению с силой тяжести, движение тела называют **свободным падением**.

Для наблюдения свободного падения различных тел (например, дробинки, пёрышка и др.) их помещают в стеклянную трубку (трубку Ньютона), из которой откачивают воздух. Если вначале все эти пред-

меты будут находиться на дне трубки, то после её быстрого перевёртывания они оказываются сверху, после чего начинают падать вниз (рис. 3.30). Наблюдая за их падением, можно заметить, что и свинцовая дробинка, и лёгкое пёрышко достигают дна трубки *одновременно*. Пройдя за одинаковое время один и тот же путь, эти тела с одной и той же скоростью ударяются о её дно. Происходит это потому, что сила тяжести обладает следующим замечательным свойством: *за каждую секунду она увеличивает скорость любого свободно падающего тела (независимо от его массы) всегда на одну и ту же величину.*

**Ускорение свободного падения.** Измерения показывают, что вблизи поверхности Земли скорость любого свободно падающего тела за каждую секунду падения возрастает на 9,8 м/с.



Рис. 3.30

### Запомните

При свободном падении тело движется равноускоренно, при этом ускорение, с которым движется тело, называется **ускорением свободного падения**, обозначается буквой  $g$  и составляет у поверхности Земли примерно 9,8 метра в секунду за секунду.



Открытие того, что все тела падают на поверхность Земли с одинаковым ускорением, принадлежит Г. Галилею. Этот факт учёный установил после опытов, в которых он сбрасывал лёгкие и тяжёлые тела с наклонной башни.

**Определение силы тяжести.** Зная ускорение свободного падения, можно найти силу, с которой Земля притягивает к себе любое находящееся вблизи неё тело.

### Запомните

Чтобы определить силу тяжести, действующую на тело, надо массу этого тела умножить на ускорение свободного падения:

$$F_g = mg.$$

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

Из этой формулы следует, что  $g = F_{\text{т}}/m$ . Но  $F_{\text{т}}$  измеряется в ньютонах, а  $m$  — в килограммах. Поэтому единицей ускорения свободного падения  $g$  может быть как метр на секунду в квадрате ( $1 \text{ м}/\text{с}^2$ ), так и ньютон на килограмм ( $1 \text{ Н}/\text{кг}$ ). При решении задач, которые не требуют высокой точности,  $g$  можно округлять, считая  $g = 10 \text{ м}/\text{с}^2$ .

С увеличением высоты над Землёй ускорение свободного падения постепенно уменьшается. Например, на высоте 297 км оно оказывается равным не  $9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ , а  $9 \text{ м}/\text{с}^2$ . Уменьшение ускорения свободного падения означает, что и сила тяжести по мере увеличения высоты над Землёй уменьшается.

### **Важно**

Чем дальше тело находится от Земли, тем слабее она его притягивает.



Всем известно, что стебель растения растёт вверх, а корень — вниз. Причина такой ориентировки кроется в силе земного притяжения, или силе тяжести. Способность различных органов растения располагаться и расти в определённом направлении по отношению к центру земного шара называется геотропизмом или гравитропизмом.

---

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

Притяжение всех тел Вселенной друг к другу называют **всемирным тяготением**. Установлено, что силы притяжения между телами тем больше, чем больше массы этих тел. Известно также, что силы притяжения между телами уменьшаются, если увеличивается расстояние между ними.



Если массы тел невелики, то невелика и сила их взаимного притяжения. Например, два человека, стоящие на расстоянии 2 м друг от друга, взаимно притягиваются с ничтожно малой силой. С такой же силой гирька массой 0,00001 г действует на чашу весов.

Если же массы тел значительны, то и силы притяжения велики. Солнце притягивает планеты, образуя Солнечную систему.

Так, между Солнцем и Землёй действует сила тяготения, равная примерно  $3 \cdot 10^{22}$  Н. Земля притягивает Луну, удерживая её на своей орбите. Но и Луна тоже притягивает Землю. Ведь приливы происходят из-за притяжения гидросфера Земли к Луне.

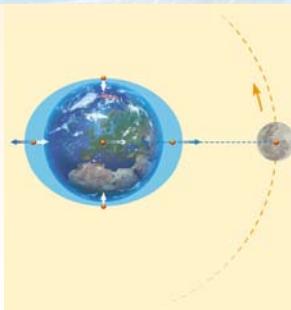


Схема приливов



1. Возьмите в руки лист бумаги и отпустите его. Пронаблюдайте за его падением. Теперь скомкайте этот лист и снова отпустите. Как изменится характер его падения? Почему?
2. Возьмите в одну руку металлический кружок (например, монету), а в другую — бумажный кружок чуть меньшего размера. Одновременно отпустите их. Однаковое ли время они будут падать? Теперь возьмите в руку металлический кружок и сверху на него положите бумажный (рис. 3.31). Отпустите кружки. Почему теперь они падают одновременно?



1. Что является причиной падения всех тел на Землю? 2. Какую силу называют силой тяжести? 3. В каком случае падение тела называют свободным? 4. Чему равно ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли? 5. По какой формуле находится сила тяжести? 6. Что произойдёт с силой тяжести, ускорением свободного падения и временем падения при увеличении массы падающего тела в 2 раза? 7. Как изменяются сила тяжести и ускорение свободного падения при удалении от Земли?



Рис. 3.31

Сила тяжести. Свободное падение.  
Закон всемирного тяготения

Найти



1. История изучения закона всемирного тяготения.
2. Силы тяжести на космических объектах.

## § 22. Равнодействующая сила

### Вспомните

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- Что такое сила тяжести?

Обычно на движущееся тело действует не одно, а сразу несколько окружающих его тел. Например, во время падения тела на него действует не только сила со стороны Земли (сила тяжести), но и сила сопротивления воздуха.

**Равнодействующая сила.** В тех случаях, когда на материальную точку действует несколько тел, их общее действие характеризуют равнодействующей силой.

### Запомните

Сила, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих сил, называется **равнодействующей** этих сил.

**Равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой.** Для нахождения равнодействующей силы существуют простые правила.

1. Если к телу приложены две силы  $F_1$  и  $F_2$ , направленные по одной прямой в одну сторону, то их равнодействующая  $F$  находится по формуле

$$F = F_1 + F_2.$$

При этом направление равнодействующей силы совпадает с направлением приложенных сил (рис. 3.32).

2. Если к телу приложены две силы  $F_1$  и  $F_2$ , направленные по одной прямой в противоположные стороны, то при  $F_1 > F_2$  их равнодействующая  $F$  находится по формуле

$$F = F_1 - F_2.$$

Направление равнодействующей силы в этом случае совпадает с направлением большей из приложенных сил (рис. 3.33).

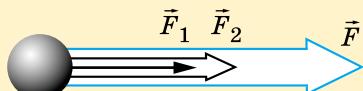


Рис. 3.32

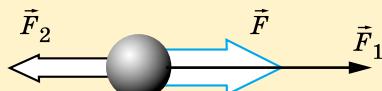


Рис. 3.33

**Состояние равновесия.** Если на тело действуют силы  $F_1$  и  $F_2$ , направленные по одной прямой в противоположные стороны, и при этом  $F_1 = F_2$ , то их равнодействующая  $F$  равна нулю. В этом случае покоящееся тело так и будет находиться в покое, а движущееся тело будет совершать равномерное и прямолинейное движение с той скоростью, которая у него была до того, как на него подействовали силы  $F_1$  и  $F_2$ .

**Важно**

Две силы, равные по значению и направленные вдоль одной прямой в противоположные стороны, *уравновешивают*, или компенсируют, друг друга. При этом тело сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения. Равнодействующая  $F$  таких сил всегда равна нулю и потому изменить скорость тела не может.

**Равнодействующая сила и изменение скорости тела.** Для изменения скорости тела относительно Земли необходимо, чтобы равнодействующая всех приложенных к телу сил была отлична от нуля. В том случае, когда тело движется в направлении равнодействующей силы, его скорость возрастает; при движении в противоположном направлении скорость тела убывает.

Так, например, во время полёта парашютиста на него действуют две силы — сила тяжести и сила сопротивления воздуха. На начальной стадии спуска сила тяжести превышает силу сопротивления, и их равнодействующая оказывается направленной вниз. Благодаря этому скорость падения парашютиста на данной стадии полёта непрерывно увеличивается. Однако по мере увеличения скорости полёта действующая на парашютиста сила сопротивления становится всё больше и больше. После раскрытия парашюта сила сопротивления воздуха резко возрастает и становится больше силы тяжести. Равнодействующая этих двух сил оказывается направленной вверх, и скорость парашютиста начинает уменьшаться.

Для безопасного спуска человека площадь купола парашюта должна составлять 40—50 м<sup>2</sup>. При этом минимальная скорость приземления оказывается равной 4—5 м/с.



Слово «парашют» в переводе с французского означает «предотвращающий падение». Идея его создания принадлежит Леонардо да Винчи (1452—1519). Однако первый прыжок с парашютом (с крыши высокой башни) был совершен лишь в 1617 г. венецианским инженером и механиком Ф. Веранцио.

Его парашют был далёк от совершенства и представлял собой раму, обтянутую полотном.

Первый ранцевый парашют, который располагался на спине человека и раскрывался при помощи вытяжного кольца, был создан в 1911 г. русским изобретателем Г. Е. Котельниковым.



**Решение задач.** Сила тяги автомобиля 1000 Н, сила сопротивления его движению 700 Н. Чему равна равнодействующая этих сил?

Дано:

$$F_1 = 1000 \text{ Н}$$

$$F_2 = 700 \text{ Н}$$

---

$$F - ?$$

Решение:

Чтобы найти равнодействующую двух сил, направленных в противоположные стороны, надо из значения большей силы вычесть значение меньшей силы:

$$F = F_1 - F_2,$$

$$F = 1000 \text{ Н} - 700 \text{ Н} = 300 \text{ Н}.$$

Ответ:  $F = 300 \text{ Н}$ .



1. Как находится равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону?
2. Как находится равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в противоположные стороны? Куда она направлена?
3. Как будет двигаться тело, если к нему приложить две равные силы, которые направлены по одной прямой, но в противоположные стороны?

Равнодействующая сила. Состояние равновесия. Парашют

Найти



Как показывают опыты, силы, с которыми тела действуют друг на друга, всегда равны по модулю и направлены противоположно. Можно ли говорить в этом случае, что равнодействующая этих сил равна нулю?

## § 23. Сила упругости. Закон Гука

### Вспомните

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

На все тела, находящиеся вблизи Земли, действует её притяжение. Под действием силы тяжести падают на Землю капли дождя, снежинки, оторвавшиеся от веток листья.

Но когда тот же снег лежит на крыше, его по-прежнему притягивает Земля, однако он не проваливается сквозь крышу, а остаётся в покое. Что препятствует его падению? Очевидно, крыша. Она действует на снег с силой, равной силе тяжести, но направленной в противоположную сторону. Что это за сила?

**Сила упругости.** На рисунке 3.34, *а* изображена доска, лежащая на двух подставках. Если на её середину поместить гирю, то под действием силы тяжести гиря начнёт двигаться, но через некоторое время, прогнув доску, остановится (рис. 3.34, *б*). При этом сила тяжести окажется уравновешенной силой, действующей на гирю со стороны изогнутой доски и направленной вертикально вверх. Эта сила называется **силой упругости**.

Сила упругости возникает при деформации.

### Запомните

**Деформация** — это изменение формы или размеров тела.

Одним из видов деформации является *изгиб*. Чем больше прогибается опора, тем большая сила упругости, действующая со стороны этой опоры на тело. Перед тем как тело (гирю) положили на доску, эта сила отсутствовала. По мере движения гири, которая всё сильнее и силь-

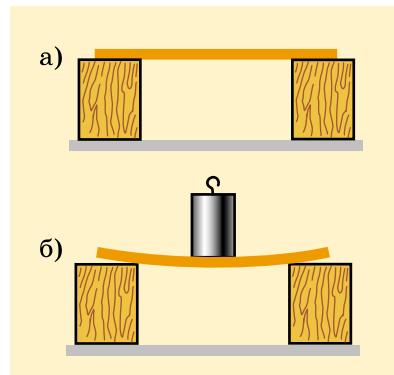


Рис. 3.34

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

нее прогибала свою опору, возрастала и сила упругости. В момент остановки гири сила упругости достигла значения силы тяжести, и их равнодействующая стала равной нулю.

Если на опору поместить достаточно лёгкий предмет, то её деформация может оказаться столь незначительной, что никакого изменения формы опоры мы не заметим. Но деформация всё равно существует! А вместе с ней действует и сила упругости, препятствующая падению тела, находящегося на данной опоре. В подобных случаях (когда деформация тела незаметна и изменением размеров опоры можно пренебречь) силу упругости обычно называют **силой реакции опоры**.

Если вместо опоры использовать какой-либо подвес (нить, верёвку, проволоку, стержень и т. п.), то прикреплённый к нему предмет также может удерживаться в покое. Сила тяжести и здесь уравновешена противоположно направленной силой упругости. Сила упругости при этом возникает из-за того, что подвес под действием прикреплённого к нему груза растягивается. *Растяжение* — ещё один вид деформации.

Сила упругости возникает и при *сжатии*. Именно она заставляет распрымляться сжатую пружину и толкать прикреплённое к ней тело (см. рис. 3.25, б).

**Направление силы упругости.** Сила упругости *всегда направлена противоположно* той силе, которая вызвала изменение формы или размеров тела. Сила упругости (сила реакции опоры) распределена по всему телу, являющемуся опорой. Она зависит от вида деформации, и часто для разных слоёв тела её значения различны. Если тело прикреплено к подвесу, например гирька растягивает пружину, то сила упругости распределена по всей длине пружины. При этом для удобства силу упругости изображают стрелкой, приложенной к точке подвеса гирьки к пружине (рис. 3.35).

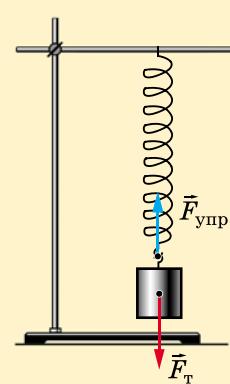


Рис. 3.35



Роберт Гук  
(1635—1703)

**Закон Гука.** Большой вклад в изучение силы упругости внёс английский учёный Р. Гук. В 1660 г., когда ему было 25 лет, он установил закон, названный впоследствии его именем.

**Запомните**

**Закон Гука** гласит:

Сила упругости, возникающая при растяжении или сжатии тела, пропорциональна изменению длины тела.

Изменение длины тела при деформации называют **удлинением**. Если длина тела увеличивается (тело растягивают), то изменение длины тела положительно; если длина тела уменьшается (тело сжимают), то изменение длины тела отрицательно.

**Запомните**

Если обозначить значение удлинения тела (без учёта его знака) через  $x$ , а значение силы упругости через  $F_{\text{упр}}$ , то закон Гука можно выразить в следующей математической форме:

$$F_{\text{упр}} = kx,$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, который называется **коэффициентом упругости тела или жёсткостью**.

**Жёсткость.** У каждого тела своя жёсткость. Чем больше жёсткость тела (пружины, проволоки, стержня и т. п.), тем меньше оно изменяет свою длину под действием данной силы.

Единицей жёсткости в СИ является **ньютон на метр** (1 Н/м).



Проделав ряд экспериментов, подтвердивших данный закон, Гук отказался от его публикации. Поэтому в течение долгого времени никто не знал о его открытии. Даже спустя 16 лет, всё ещё не доверяя своим коллегам, Гук в одной из своих книг привёл лишь зашифрованную формулировку (анаграмму) своего закона. Она имела вид

$$ceiiinosssttuu.$$

Выждав два года, чтобы конкуренты могли сделать заявки о своих открытиях, он наконец расшифровал свой закон. Анаграмма расшифровывалась так: каково растяжение, такова и сила. «Сила любой пружины, — писал Гук, — пропорциональна её растяжению».

**Упругие и пластические деформации.** Гук изучал **упругие** деформации. Так называют деформации, которые исчезают после прекращения внешнего воздействия. Если, например, пружину несколько растянуть, а затем отпустить, то она снова примет свою первоначаль-

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

ную форму. Но ту же пружину можно растянуть настолько, что, после того как её отпустят, она так и останется растянутой. Деформации, которые не исчезают после прекращения внешнего воздействия, называют **пластическими**.

Пластические деформации применяют при лепке из пластилина и глины, при обработке металлов — ковке, штамповке и т. п.

Для пластических деформаций закон Гука не выполняется.



**Решение задач.** К вертикально расположенной пружине жёсткостью 80 Н/м подвесили груз массой 400 г. На сколько сантиметров растянулась при этом пружина?

Дано:

$$k = 80 \text{ Н/м}$$

$$m = 400 \text{ г}$$

СИ

$$80 \text{ Н/м}$$

$$0,4 \text{ кг}$$

Решение:

На груз, прикреплённый к пружине, действуют две силы: сила тяжести и сила упругости. В состоянии равновесия эти силы уравновешиваются друг друга. Поэтому мы можем записать:

$$F_{\text{упр}} = F_{\text{т}},$$
$$kx = mg,$$

$$x = \frac{0,4 \cdot 10}{80} \text{ м} = 0,05 \text{ м}.$$

$x - ?$

... м

Ответ:  $x = 5 \text{ см.}$



1. В каких случаях возникает сила упругости?
2. Что называют деформацией? Приведите примеры деформаций.
3. Сформулируйте закон Гука.
4. Что такое жёсткость?
5. Чем отличаются упругие деформации от пластических?

Сила упругости. Деформация. Роберт Гук.

Закон Гука. Жёсткость. Пластические деформации.

Упругие деформации

Найти



Для получения тонкой проволоки её несколько раз протягивают через ряд отверстий с уменьшающимся диаметром. Какие виды деформации испытывает при этом проволока?



Деформация в технике.



- Деформацию испытывают кости, мышцы, суставы человека и животных

## § 24. Динамометр. Вес тела

### Вспомните

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- Что такое сила тяжести и как она вычисляется?
- Что такое сила упругости?
- Как формулируется закон Гука?

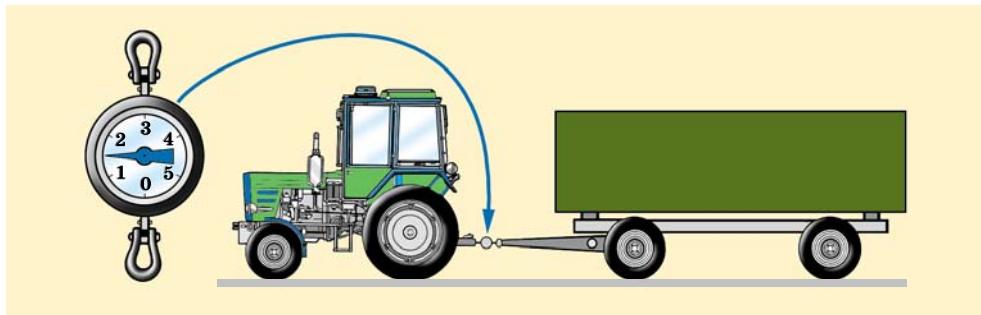


Рис. 3.36

Закон Гука лежит в основе действия прибора для измерения силы — динамометра.

**Динамометр.** Динамометр (от греческого слова «динамис» — сила) — это прибор для измерения силы.

Существуют различные конструкции динамометров. Силу тяги тракторов, тягачей, буксиров и т. п. измеряют с помощью *тяговых динамометров* (рис. 3.36). Для измерения мышечной силы руки используют медицинский динамометр — *силомер* (рис. 3.37).

На рисунке 3.38 изображён учебный пружинный динамометр, рассчитанный на измерение сил до 4 Н. Он состоит из стальной пружины с указателем и крючком, прикреплённой к пластмассовому (в старых конструкциях — к деревянному) основанию, на которое нанесена шкала (буква «N» на шкале динамометра — это международное обозначение ньютона).

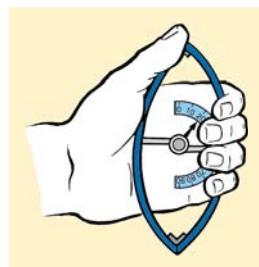


Рис. 3.37

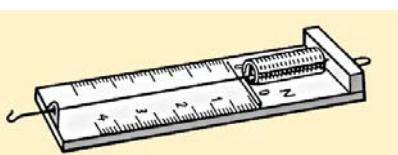


Рис. 3.38

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

Действие пружинного динамометра основано на уравновешивании измеряемой силы силой упругости пружины.

**Градуирование динамометра.** Градуирование пружины динамометра (т. е. создание шкалы с делениями) можно осуществить следующим образом. К основанию динамометра (под пружиной) прикрепляют полоску белой бумаги. Динамометр располагают вертикально. Затем отмечают положение указателя при нерастянутой пружине — это нулевое деление (рис. 3.39, а). После этого к крючку подвешивают груз массой 102 г. На этот груз действует сила тяжести 1 Н. Под действием этого груза пружина растягивается, и указатель перемещается вниз. В положении равновесия сила тяжести, действующая на груз, уравновешивается противоположно направленной силой упругости. Следовательно, растяжение пружины при этом соответствует силе упругости, также равной 1 Н. Поэтому новое положение указателя отмечают на бумаге цифрой 1 (рис. 3.39, б).

Затем к первому грузу подвешивают ещё один таковой же, увеличивая тем самым общую массу до 204 г, а силу тяжести — до 2 Н. Соответствующее положение указателя отмечают цифрой 2. После этого прикрепляют третий, а затем четвёртый груз, каждый раз отмечая положение указателя соответствующей цифрой.

Для того чтобы можно было измерять десятые доли ньютона, каждый участок шкалы между отметками 0 и 1, 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 делят на десять равных частей. Такое построение шкалы возможно благодаря

закону Гука, из которого следует, что сила упругости пружины увеличивается во столько же раз, во сколько раз увеличивается её удлинение.

**Графическое представление закона Гука.** Построим график зависимости силы упругости от деформации пружины динамометра (рис. 3.40). Для этого будем последовательно подвешивать к динамометру

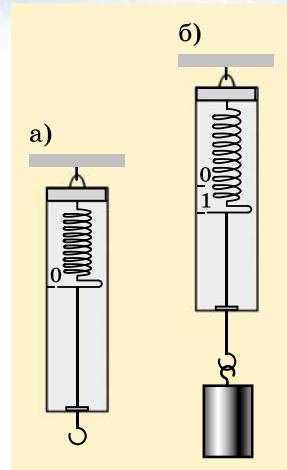


Рис. 3.39

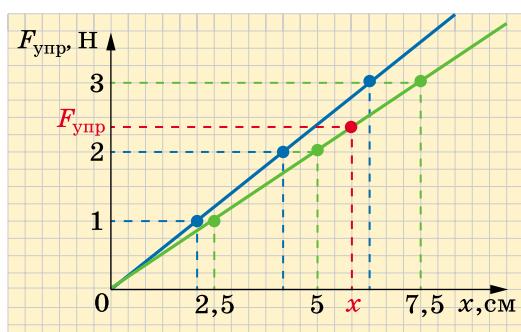


Рис. 3.40

грузики определённой массы и измерять соответствующие значения силы упругости и растяжения пружины. Так как сила тяжести, действующая на тело массой 1 кг, равна 9,8 Н, то сила, равная 1 Н, будет действовать на тело, которое в 9,8 раза легче. Масса этого тела 102 г. Под влиянием силы тяжести, действующей на груз, пружина динамометра растягивается на  $x_1 = 2,5$  см. Нанесём на график соответствующую точку (зелёным цветом). Подвесим к крючку ещё один такой же груз и повторим описанный опыт. Суммарная масса груза в этом случае равна 204 г, а деформация  $x_2 = 5$  см. Нанесём соответствующую точку на координатную плоскость. Проделаем аналогичные действия для трёх грузов. Можно увидеть, что все три точки лежат на одной прямой.

Как по графику определить значение коэффициента упругости пружины? По закону Гука  $k = F_{\text{упр}}/x$ . Если взять любую точку, лежащую на прямой, и определить её координаты, то по оси абсцисс мы получим значение  $x$ , а по оси ординат — значение  $F_{\text{упр}}$ . Поделив одно значение на другое, получим искомую величину.

Повторив описанный опыт с другой пружиной, получим другой график — прямую (синего цвета), который отличается от предыдущего углом наклона к оси абсцисс. Чем больше коэффициент упругости пружины, тем больше угол наклона.

**Вес тела.** Динамометр можно применять и для измерения веса тела.

**Запомните**

**Весом** тела называют силу, с которой оно давит на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес:

$$P \text{ — вес тела.}$$

Если к вертикально расположенному пружинному динамометру прикрепить груз, то после того, как груз растянет пружину и остановится, на крючок динамометра будут действовать две силы: сила упругости пружины  $F_{\text{упр}}$  и вес груза  $P$ . Эти силы будут противоположны по направлению, но равны по значению. Поэтому динамометр позволяет измерить не только силу упругости (и равную ей силу тяжести груза), но и вес тела  $P$ .

**Запомните**

Вес покоящегося, а также равномерно и прямоилинейно движущегося (относительно Земли) тела равен действующей на него силе тяжести:

$$P = mg.$$

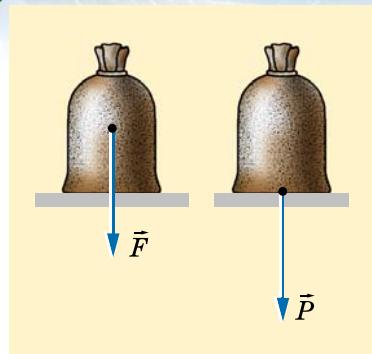


Рис. 3.41

**Вес тела и сила тяжести.** Несмотря на совпадение формул для расчёта, между силой тяжести и весом тела есть существенное различие. Сила тяжести приложена к телу, на которое действует Земля, а вес тела приложен к подвесу, который тело растягивает, или опоре, на которую это тело давит. Если обе эти силы изобразить в виде стрелок, указывающих их направления (а направлены эти силы вертикально вниз), то это будет выглядеть так, как показано на рисунке 3.41.

**Вес тела и масса.** В повседневной жизни мы часто используем слова «вес» и «масса» как синонимы. Мы привыкли, что вес измеряется в килограммах.



Действительно, раньше в физике вес измеряли в килограммах. Считали, что тело массой 1 кг на неподвижной горизонтальной опоре весит один килограмм. И для того чтобы различать такие разные физические величины, как вес (сила) и масса, наименование единицы веса, в отличие от наименования единицы массы (кг), записывали «кГ», например  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $P = 1 \text{ кГ}$ . Теперь в физике и технике принята Международная система единиц (СИ), в которой сила выражается в ньютонах.

Вес тела не следует путать с его массой. Масса тела измеряется в килограммах, а вес тела (как и любая другая сила) — в ньютонах. Вес тела имеет направление, а масса никакого направления не имеет.

**Зависимость веса от условий, в которых находится тело.** Вес тела равен по модулю силе тяжести, если тело находится на неподвижной опоре (или неподвижном подвесе) или опора (или подвес) вместе с телом движутся равномерно и прямолинейно. Если же опора (или подвес) вместе с телом движется неравномерно по линии действия силы, т. е. вверх или вниз, то тело действует на опору сильнее или слабее, чем при равномерном движении. В этом случае вес тела может быть больше силы тяжести, меньше её или быть равным нулю.

Поднимаясь на скоростном лифте, в самом начале движения мы ощущаем, как нас слегка прижимает к полу. А при спуске нас как будто слегка приподнимает. Дело в том, что при движении лифта вверх вес тела увеличивается, а при движении вниз — уменьшается. Этот факт

можно проверить, если подняться или опуститься в лифте стоя на весах.

**Невесомость.** Проведём следующий опыт. Подвесим на нити пружину, а к ней прикрепим груз (рис. 3.42). В результате пружина растянется. Теперь перережем нить и наблюдаем за процессом падения пружины вместе с грузом. В течение всего времени падения пружина будет оставаться нерастянутой. Получается, что при падении груз не действует на пружину и, следовательно, его вес в этот момент равен нулю.

Таким образом, *свободно падающее тело не действует на свободно падающую вместе с ним пружину*. В этом случае вес тела равен нулю. Про такое тело говорят, что оно находится *в состоянии невесомости*. При этом сила тяжести по-прежнему действует на тело и заставляет его падать.

Подобные явления наблюдаются и на космических станциях, обращающихся вокруг Земли. Космическая станция и все находящиеся на ней тела, включая космонавта, обращаясь вокруг Земли, как бы непрерывно свободно падают на Землю. Вследствие этого все находящиеся на космической станции тела не действуют на опоры, а подвешенные к пружине — не растягивают её. Все предметы находятся в состоянии невесомости. Однако при разгоне космического корабля, когда он выходит на орбиту, или при торможении во время посадки вес космонавта оказывается больше силы тяжести, и он испытывает большие перегрузки.



- Что такое динамометр?
- На чём основано действие пружинного динамометра?
- Что называют весом тела?
- По какой формуле находится вес покоящегося тела?
- Чем отличается вес тела от силы тяжести и массы тела?

Динамометр. Вес тела. Невесомость

Найти



Гирю массой 1 кг взвешивают на пружинных и рычажных весах сначала на Земле, а затем на Луне. Однаковы ли будут показания весов? Можно ли гирю взвесить на орбитальной космической станции?



Как добиться невесомости?

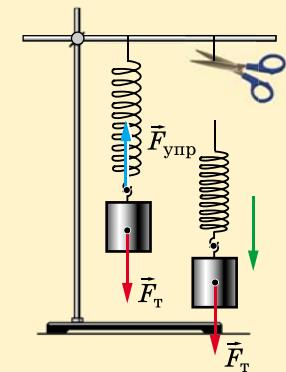


Рис. 3.42

## § 25. Сила трения

### Вспомните

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- Как частицы вещества действуют друг на друга?

Как движется игрушечная машинка после того, как её толкнули? Сначала она катится по полу, а потом останавливается. Если она будет двигаться по ковру, она остановится гораздо быстрее, чем при движении по гладкому полу. После толчка на машинку больше не действует сила, заставившая её двигаться. При отсутствии действия других сил машинка продолжала бы двигаться равномерно и прямолинейно, а не замедляла бы своё движение. В чём же причина её остановки?

**Сила трения.** Если вы попытаетесь сдвинуть с места шкаф, то сразу убедитесь, что это не так-то просто сделать. Его движению будет мешать взаимодействие ножек с полом, на котором он стоит.

### Запомните

Взаимодействие, возникающее в месте соприкосновения поверхностей тел и препятствующее их относительному движению, называют **трением**, а характеризующую это взаимодействие силу — **силой трения**.

Различают три вида трения при движении одного тела по поверхности другого (или попытке сдвинуть тело): трение покоя, трение скольжения и трение качения.

**Трение покоя.** Положим брускок на наклонную доску. При не слишком большом угле наклона доски брускок будет оставаться в покое. Что будет удерживать его от скользывания вниз? Трение покоя.

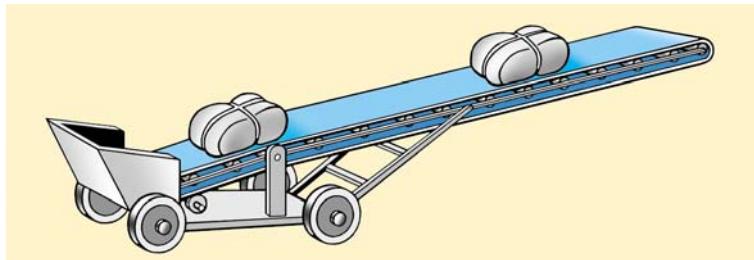


Рис. 3.43

Прижмите свою руку к лежащей на столе тетради и передвиньте её. Тетрадь будет двигаться относительно стола, но покойться по отношению к вашей ладони. С помощью какой силы вы заставили эту тетрадь двигаться? С помощью силы трения покоя руки о тетрадь.

Трение покоя перемещает грузы, находящиеся на движущейся ленте транспортёра (рис. 3.43), препятствует развязыванию шнурков, удерживает гвозди, вбитые в доску, и т. п.

### Важно

Сила трения покоя может быть разной. Она растёт вместе с силой, стремящейся сдвинуть тело с места. Но для любых двух соприкасающихся тел она достигает некоторого максимального значения, больше которого быть не может.

Например, для деревянного бруска, находящегося на горизонтальной деревянной доске, максимальная сила трения покоя составляет примерно 0,6 от его веса.

Приложив к телу силу, превышающую максимальную силу трения покоя, мы сдвинем тело с места, и оно начнёт двигаться. Трение покоя при этом сменится трением скольжения.

**Трение скольжения.** Из-за чего постепенно останавливаются санки, скатившиеся с горы? Из-за трения скольжения. Почему замедляет своё движение шайба, скользящая по льду? Вследствие трения скольжения.

### Важно

Сила трения скольжения всегда направлена в сторону, противоположную направлению движения тела.

**Как рассчитать силу трения скольжения.** При малых относительных скоростях движения тел сила трения скольжения весьма незначительно отличается от максимальной силы трения покоя. Опыты показывают, что максимальное значение силы трения покоя прямо пропорционально весу тела и, следовательно, силе реакции опоры  $N$ . Поэтому можно записать:

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{тр, max}} = \mu N,$$

где  $\mu$  — коэффициент пропорциональности, который называется коэффициентом трения. Этот коэффициент зависит от материалов, из которых изготовлены поверхности соприкасающихся тел, а также от качества обработки поверхностей и их состояния.

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

**Причины возникновения силы трения.** Каковы же причины возникновения силы трения?

1) *Шероховатость поверхностей соприкасающихся тел.* Даже те поверхности, которые выглядят гладкими, на самом деле всегда имеют микроскопические неровности (выступы, впадины). При скольжении одного тела по поверхности другого эти неровности зацепляются друг за друга и тем самым мешают движению.

2) *Межмолекулярное притяжение, действующее в местах контакта трущихся тел.* Молекулярное притяжение проявляется в тех случаях, когда поверхности соприкасающихся тел хорошо отполированы. Так, например, при относительном скольжении двух металлов с очень чистыми и ровными поверхностями, обработанными в вакууме с помощью специальной технологии, сила трения оказывается намного больше, чем при перемещении бруска дерева с необработанными поверхностями по земле. В некоторых случаях эти металлы даже «схватываются» друг с другом, и дальнейшее скольжение невозможно.

**Трение качения.** Если тело не скользит по поверхности другого тела, но, подобно колесу или цилинду, катится, то возникающее в месте их контакта трение называют трением качения. Катящееся колесо несколько вдавливается в полотно дороги, и потому перед ним всё время оказывается небольшой бугорок, который необходимо преодолевать. Именно тем, что катящемуся колесу постоянно приходится взбираться на появляющийся впереди бугорок, и обусловлено трение качения. При этом чем дорога твёрже, тем трение качения меньше.

### **Важно**

При одинаковых нагрузках сила трения качения значительно меньше силы трения скольжения.

Это было замечено ещё в древности. Поэтому для перемещения тяжёлых грузов наши предки подкладывали под них катки или бревна. По этой же причине люди стали использовать в транспорте колёса.



1. Какие известные вам наблюдения и опыты свидетельствуют о существовании трения? 2. Что такое трение? 3. Какими факторами обусловлено трение? 4. Какие виды трения существуют? Приведите примеры их проявления. 5. Используя рисунок 3.44, объясните, каким образом можно показать, что при равных нагрузках сила трения качения меньше силы трения скольжения.

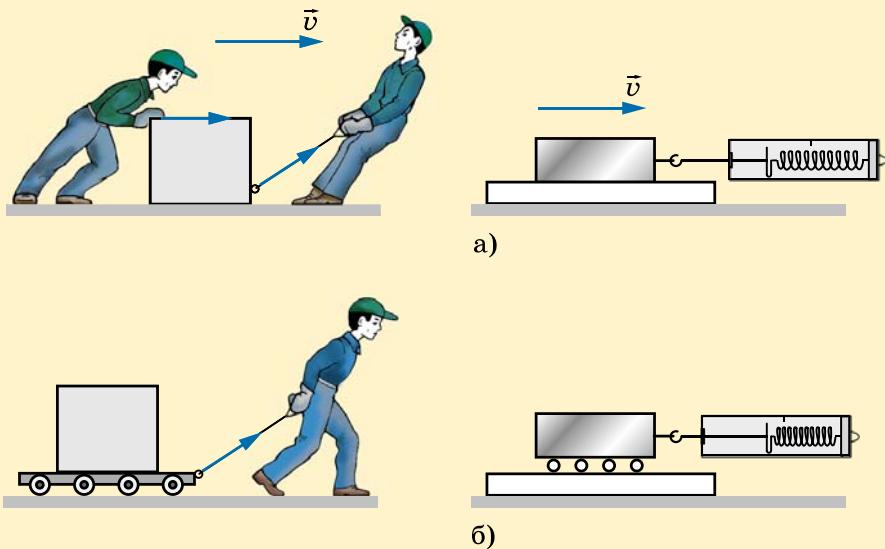


Рис. 3.44

**Сила трения.** Виды трения: трение покоя, трение скольжения, трение качения. Причины трения. Колесо

Найти



Почему мокрая газета рвётся значительно легче, чем сухая?



- Роль трения для хватательных органов животных и растений (клешни, хвост, хобот, усики растений и др.)
- Обтекаемая форма животных, обитающих в воде, уменьшает трение



- Спортсмены используют специальный порошок — магнезию для натирания ладоней при выполнении упражнений на снарядах, подошвы натирают канифолью, применяют смазку для лыж

## § 26. ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

### Вспомните

- Что такое сила трения?
- Какие виды трения существуют?

Изучением трения учёные занимаются издавна. Первым его исследовал ещё Леонардо да Винчи (1452—1519). Важные результаты в этой области были получены французскими учёными Г. Амонтоном (1663—1705) и Ш. Кулоном (1736—1806).

**Полезное трение.** Какую роль играет трение в природе и технике — положительную или отрицательную? На этот вопрос нельзя дать однозначного ответа. Трение может быть как полезным, так и вредным. В первом случае его стараются усилить, во втором — ослабить.

В отсутствие трения покоя ни люди, ни животные не могли бы ходить по земле. В гололедицу, когда трение между подошвой обуви и льдом становится малым и ноги начинают скользить, лёд посыпают песком: песок увеличивает трение.

У животных сцепление с поверхностью земли достигается либо заострениями на конечностях, либо мелкими неровностями, например щетинками, чешуйками, бугорками.



Рассмотрим ходьбу человека по горизонтальной поверхности. На первом этапе нога выносится вперёд и ставится на землю. Подошва ботинка давит вперёд, т. е. по направлению движения человека. В этом случае сила трения направлена против движения человека.

На втором этапе, когда человек делает шаг, он отталкивается от земли. Подошва ботинка стремится продвинуться назад, в сторону, противоположную движению человека. В этом случае сила трения действует по направлению движения человека.

Таким образом, при ходьбе направление силы трения всё время меняется.

На гладкой поверхности не смогли бы двигаться и автомобили: их колёса, вращаясь, проскальзывали бы и буксовали на месте.

Именно трение останавливает машины при торможении. На льду они даже при включённых тормозах продолжали бы двигаться достаточно долго практически по инерции.

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



Одним из самых важных открытий в истории человечества по праву можно считать открытие способа добывать огонь.

Наши древние предки добывали огонь при помощи трения одного куска сухого дерева о другое, что осуществлялось вращением одной палочки по поверхности другой. В наше время сохранились племена, которые по-прежнему добывают огонь этим способом. При участии трения происходит процесс возгорания головки спички.

**Отрицательная роль трения.** Но трение мо-  
жет играть и отрицательную роль. Ведь именно  
из-за него нагреваются и изнашиваются мно-  
гие движущиеся части различных механизмов.  
В таких случаях его стараются уменьшить.

**Способы уменьшения трения.** Существуют разные способы уменьшения трения.

1. *Введение между трещимися поверхно-стями смазки* (например, какого-либо масла). При наличии смазки (рис. 3.45) сопри-каются не сами поверхности тел, а соседние слои смазки. Трение же между слоями жидкости слабее, чем между твёрдыми поверхно-стями. Именно поэтому мокрый пол более скольз-кий, чем сухой.

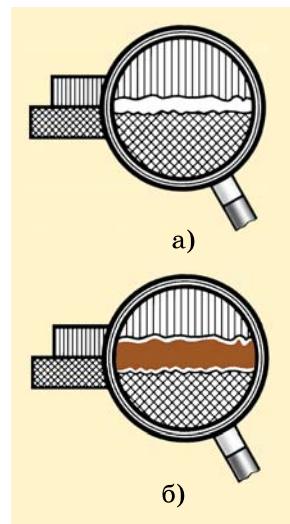


Рис. 3.45



Кости животных и человека в местах их подвижного со-единения (суставах) имеют очень гладкую поверхность. Внутренняя оболочка полости сустава выделяет специальную *синовиальную жидкость*, которая обеспечивает смазку между суставами, тем самым уменьшая трение между суставными по-верхностями и оберегая их от повреждений.



Рис. 3.46

*2. Использование шариковых и роликовых подшипников* (рис. 3.46). Внутреннее кольцо таких подшипников насаживают на вал какой-либо машины или станка. Наружное кольцо подшипника закрепляют в корпусе машины. Когда машину или станок включают и вал начинает вращаться, то вместе с внутренним кольцом он начинает не скользить, а катиться на шариках или роликах, находящихся между кольцами подшипника. Трение же качения существенно меньше трения скольжения. Поэтому вращающиеся части машин при наличии подшипников изнашиваются значительно медленнее и дольше служат людям.

Подшипники используют в автомобилях, велосипедах, роликовых коньках, в вентиляторах для персональных компьютеров, в огромном количестве разнообразных станков и т. д.

*3. Применение воздушной подушки.* Уменьшение трения при этом происходит за счёт того, что между телом и опорой создаётся область воздуха с повышенным давлением, препятствующая их непосредственному контакту. Подобные устройства применяют в судах на воздушной подушке, экранопланах и других аппаратах.

Суда на воздушной подушке движутся ровнее обычных лодок, поскольку движутся они не сквозь волнующуюся воду, а над нею. Катер на воздушной подушке с равным успехом идёт по течению или против него, очень хорошо работает на порожистой стремнине и является отличным спасательным средством.



1. Приведите примеры, показывающие, что трение может быть полезным.
2. Приведите примеры, показывающие, что трение может быть вредным.
3. Какие способы увеличения и уменьшения трения вы знаете?

Сила трения. Полезное и вредное трение. Трение в природе и технике. Способы уменьшения и увеличения трения

Найти



1. Вред и польза трения.
2. Способы победить трение.

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

### ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ

Прочитайте текст. Запомните, что означают выделенные в тексте слова. Подготовьтесь рассказать о прочитанном своими словами. Приведите примеры, иллюстрирующие сказанное.

Окружающие нас тела участвуют в **механическом движении** — изменяют своё положение в пространстве с течением времени. Узнать, движется тело или нет, можно, если рассматривать положение данного тела относительно другого, которое мы считаем неподвижным, например относительно Земли.

Линия, по которой движется тело, называется **траекторией**. Длина траектории от начальной точки до конечной — это путь, пройденный телом. **Путь** — физическая величина, которая обозначается буквой *s* и выражается в метрах (м).

**Скорость** — векторная физическая величина, характеризующая, как быстро движется тело, и показывающая, какой путь проходит тело в единицу времени, например за 1 с. Скорость обозначается буквой *v* и выражается в метрах в секунду (м/с).

Самое простое движение — **прямолинейное равномерное**. Это такое движение, при котором тело движется по прямой и за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути. Если тело движется неравномерно, то полезно знать его **среднюю скорость**: она равна отношению всего пройденного телом пути ко всему времени его движения.

**Ускорение** характеризует быстроту изменения скорости тела при равноускоренном движении.

Тела действуют друг на друга — **взаимодействуют**. Если тело не взаимодействует ни с какими другими телами, оно движется прямолинейно и равномерно или покоятся — наблюдается явление **инерции**. При взаимодействии скорости обоих тел изменяются. Более инертное тело за время взаимодействия меньше изменяет свою скорость, менее инертное тело — больше.

**Масса** — физическая величина, которая характеризует инертность тела, обозначается буквой *m* и выражается в килограммах (кг).

**Сила** — векторная физическая величина, которая характеризует действие одного тела на другое, обозначается буквой *F* и выражается в ньютонах (Н). Силу измеряют динамометром.

На все тела на Земле действует **сила тяжести**. Её можно найти, если массу тела умножить на 9,8 Н/кг.

При деформации тел возникает **сила упругости**, которая зависит от изменения длины тела. Тело на опоре или подвесе действует на опо-

## ГЛАВА 3. Движение и взаимодействие тел

ру или подвес с силой, называемой **весом** тела. Если опора или подвес вместе с телом покоятся либо движутся равномерно, вес численно равен силе тяжести. Вес — сила упругости, которая обозначается буквой  $P$  и выражается, как и любая сила, в ньютонах (Н).

При попытке сдвинуть одно тело по поверхности другого возникает **сила трения покоя**, при движении тела по поверхности другого — сила трения скольжения или сила трения качения. Сила трения зависит от веса тела, материала и качества обработки трущихся поверхностей.

### **Запомните**

*Запомните эти формулы:*

$$v = \frac{s}{t}, \quad v_{\text{ср}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \quad a = \frac{v - v_0}{t}, \quad \rho = \frac{m}{V},$$

$$F_{\text{т}} = mg, \quad F_{\text{упр}} = kx, \quad P = mg.$$

# ГЛАВА 4

## РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

### § 27. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

#### Вспомните

- Что такое сила?
- Каковы единицы силы?
- Что такое путь?

Термин «работа» был введён в физику в 1826 г. французским учёным Ж. Понселе. Если раньше работой называли лишь труд человека, то теперь под этим термином стали понимать ещё и определённую физическую величину:

$A$  — работа.

**Механическая работа.** Прикладывая определённые усилия для перемещения груза, человек устает тем больше, чем большую силу ему приходится прикладывать и чем больший путь при действии этой силы проходит груз. Логично при этом говорить, что человек совершает большую работу. Поэтому можно связать работу как физическую величину с силой и путём, пройденным телом под действием этой силы.

#### Важно

Механической работой называют физическую величину, зависящую от числового значения и направления силы и от перемещения точки её приложения.

Для расчёта механической работы Понселе предложил специальные правила. Мы рассмотрим лишь самые простые случаи.

#### Запомните

Пусть тело, к которому приложена какая-либо постоянная сила  $F$ , перемещается вдоль прямой линии на расстояние  $s$ . Тогда:

1) если направление движения тела совпадает с направлением приложенной силы (рис. 4.1), то данная сила совершает *положительную работу*, равную произведению силы на пройденный путь:

$$A = Fs; \quad (27.1)$$

**Запомните**

2) если направление движения тела противоположно направлению силы (рис. 4.2), то данная сила совершаєт *отрицательную работу*, равную произведению силы на путь, взятоому со знаком «минус»:

$$A = -F_s; \quad (27.2)$$

3) если скорость тела перпендикулярна направлению силы (рис. 4.3), то эта сила никакой работы не совершает:

$$A = 0.$$

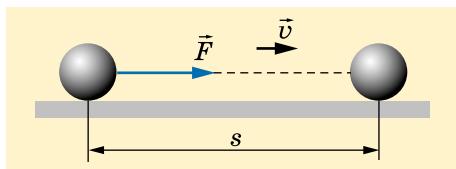


Рис. 4.1

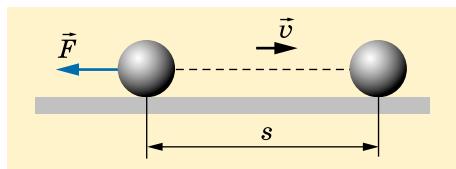


Рис. 4.2

Формула (27.1) показывает, что *чем больше сила и путь, пройденный в направлении действия силы, тем больше работа, совершаемая данной силой*.

**Условия, необходимые для совершения работы.**

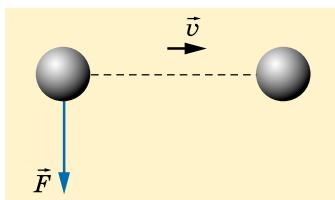


Рис. 4.3

**Запомните**

Для совершения работы необходимо выполнение *трёх условий*: а) к телу должна быть приложена какая-либо сила; б) тело должно перемещаться; в) направление движения не должно быть перпендикулярным по отношению к направлению действия силы. Если хотя бы одно из этих условий не будет выполнено, то работа будет равна нулю.

**Ситуации, в которых механическая работа не совершается.** Мы уже знаем, что если сила действует перпендикулярно направлению движения тела, то работа этой силы равна нулю. А в каких ещё случаях работа может быть равна нулю? Очевидно, что в случае, когда либо равны нулю 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 совершилась, так как не было перемещения тела.

**Примеры немеханической работы.** Если тело, к которому приложена сила, продолжает оставаться в покое, то механическая работа при этом не совершается. Но немеханическая работа может совершаться и в этом случае. Именно поэтому, например, устает человек, который просто держит на весу какой-либо груз. Работа, совершаемая человеком, обусловлена процессами, происходящими в его организме. Тщательные наблюдения показывают, что груз в руках человека на самом деле не остаётся в полном покое, а совершает небольшие колебания, периодически поднимаясь и опускаясь. Мышцы человека при этом то расслабляются, то сокращаются, затрачивая на каждый микроскопический подъём груза вырабатываемую организмом энергию.



Джеймс  
Прескотт Джоуль  
(1818—1889)

Примером немеханической работы является и простое запоминание человеком какой-либо информации. Этот процесс связан с жизнедеятельностью клеток мозга и потому изучается в курсе биологии человека.

**Единицы работы.** Единицей работы в СИ является джоуль (1 Дж).

### Важно

1 Дж — это работа, которую совершает сила в 1 Н на пути 1 м в направлении действия силы.

Эта единица названа в честь английского учёного Дж. Джоуля.

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

Часто применяются также килоджоули и миллиджоули:

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж}, 1 \text{ мДж} = 0,001 \text{ Дж}.$$



**Решение задач.** 1. Чему равна работа, которую необходимо совершить для равномерного подъёма гранитной плиты объёмом 0,5 м<sup>3</sup> на высоту 20 м? Плотность гранита 2500 кг/м<sup>3</sup>.

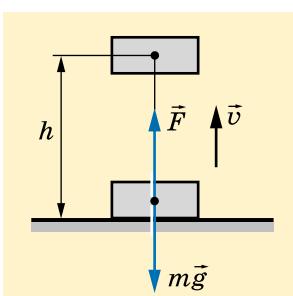


Рис. 4.4

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

**Дано:**

$$V = 0,5 \text{ м}^3$$

$$s = 20 \text{ м}$$

$$\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$$

$$A = ?$$

**Решение:**

$$A = Fs,$$

где  $F$  — сила, прикладываемая к плите при её подъёме. Если подъём равномерный, то эта сила равна силе тяжести (рис. 4.4):

$$F = mg, \quad m = \rho V, \quad s = h,$$

$$m = 2500 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,5 \text{ м}^3 = 1250 \text{ кг},$$

$$F = 1250 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} = 12500 \text{ Н.}$$

$$A = 12500 \text{ Н} \cdot 20 \text{ м} = 250000 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $A = 250 \text{ кДж.}$

- 2.** Какую работу совершает сила трения скольжения, действующая на ящик, при его перемещении по поверхности стола на 40 см? Сила трения равна 5 Н.

**Дано:**

$$s = 40 \text{ см}$$

$$F_{\text{тр}} = 5 \text{ Н}$$

$$A = ?$$

**СИ**

$$0,4 \text{ м}$$

$$5 \text{ Н}$$

**Решение:**

Работа постоянной силы, действующей в направлении движения, равна произведению силы на пройденный путь. В данном случае сила направлена в сторону, противоположную движению.

Поэтому её работа отрицательна:

$$A = -F_{\text{тр}} s,$$

$$A = -5 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м} = -2 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $A = -2 \text{ Дж.}$



1. В каком случае работа положительна? отрицательна? равна нулю?
2. Как находится работа на пути, пройденном в направлении действия силы? в противоположном направлении?
3. Как называется единица работы?
4. Какую работу — положительную, отрицательную или равную нулю — совершает сила тяжести в следующих случаях: а) выпущенная из лука стрела летит вертикально вверх; б) санки скользят по горизонтальной поверхности; в) камень падает вертикально вниз?
5. Какую работу совершает сила трения покоя, препятствующая человеку сдвинуть с места тяжёлый шкаф?

Механическая работа. Положительная работа.

Отрицательная работа. Джеймс Джоуль

Найти



Может ли механическую работу совершить сила трения покоя?

# § 28. Мощность

## Вспомните

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

Слово «мощность» всем нам хорошо знакомо и употребляется достаточно часто. Мы говорим, что один автомобиль мощнее другого, и, как нам кажется, хорошо понимаем, что означает это слово.

**Мощность.** Одна и та же работа может быть совершена за разное время. Если, например, необходимо перенести на какое-либо расстояние мешок с песком, то человек это может сделать за несколько минут, а муравью, таскающему по одной песчинке, для этого потребуется несколько лет.

Быстроту совершения работы характеризуют **мощностью**. Если, например, за 2 с была совершена работа 6 Дж, то за 1 с была совершена работа, в 2 раза меньшая. Разделив 6 Дж на 2 с, мы получим 3 Дж/с. Это и есть мощность.

## Запомните

Мощность показывает, какая работа совершается за единицу времени (в СИ — за 1 с). Чтобы найти мощность, надо работу разделить на время, в течение которого совершилась эта работа:

$$N = \frac{A}{t}, \quad (28.1)$$

где  $N$  — мощность,  $A$  — работа,  $t$  — время.

**Единицы мощности.** Единицей мощности в СИ является *ватт* (1 Вт).

## Важно

1 Вт — это такая мощность, при которой за 1 с совершается работа 1 Дж:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с.}$$

Эта единица названа в честь английского изобретателя Дж. Уатта (Ватта), построившего первую паровую машину. Сам Уатт пользовался другой единицей мощности — *лошадиной силой* (1 л. с.), которую он ввёл для того, чтобы можно было сравнить работоспособность паровой машины и лошади: 1 л. с. = 735,5 Вт.



Джеймс Уатт  
(1736—1819)

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

В технике часто применяют более крупные единицы мощности — **киловатт** и **мегаватт**: 1 кВт = 1000 Вт, 1 МВт = 1 000 000 Вт.

**Примеры мощностей.** Мощность является важной характеристикой любого двигателя. Различные двигатели имеют мощности от сотых и десятых долей киловатта (двигатели электрической бритвы, швейной машины) до миллионов киловатт (двигатели ракет-носителей космических кораблей). Средняя мощность, развиваемая сердцем, равна 2,2 Вт. А при физических нагрузках человек может развить мощность в тысячу раз больше.

**Как рассчитать работу, зная мощность.** Зная мощность, можно рассчитать работу. Из формулы (28.1) следует, что

**Важно**

$$A = Nt. \quad (28.2)$$

Чтобы найти работу, надо мощность умножить на время, в течение которого совершилась работа.



**Решение задач.** Какую мощность должен иметь двигатель транспортёра, чтобы за 1 ч с его помощью можно было поднять 30 м<sup>3</sup> песка на высоту 6 м? Плотность песка 1500 кг/м<sup>3</sup>.

Дано:

$$t = 1 \text{ ч}$$

$$V = 30 \text{ м}^3$$

$$s = 6 \text{ м}$$

$$\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$$

СИ

$$3600 \text{ с}$$

$$30 \text{ м}^3$$

$$6 \text{ м}$$

$$1500 \text{ кг/м}^3$$

Решение:

$$N = \frac{A}{t}, \quad A = Fs, \quad F = mg,$$

$$m = \rho V, \quad s = h,$$

$$m = 1500 \text{ кг/м}^3 \cdot 30 \text{ м}^3 = 45000 \text{ кг},$$

$$F = 45000 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} = 450000 \text{ Н},$$

$$A = 450000 \text{ Н} \cdot 6 \text{ м} = 2700000 \text{ Дж},$$

$$N = \frac{2700000 \text{ Дж}}{3600 \text{ с}} = 750 \text{ Вт}.$$

$$N = ?$$

$$\dots \text{ Вт}$$

Ответ:  $N = 750 \text{ Вт}$ .



- Что характеризует мощность?
- Что показывает мощность?
- Как находится мощность?
- Как называется единица мощности в СИ?
- Как, зная мощность и время, можно рассчитать работу?

Мощность, единицы мощности, лошадиная сила. Дж. Уатт

Найти



Оцените мощность, развиваемую спортсменом при прыжке в высоту. Необходимые физические величины и их значения задайте сами.



- Работа и мощность в живой природе.
- Самые мощные машины.

# § 29. ЭНЕРГИЯ

## Вспомните

- Что такое механическая работа?
- В каком случае совершаются механическая работа?

Термин «энергия» был введён в 1807 г. английским учёным Т. Юнгом. В переводе с греческого это слово означает «действие», «деятельность».

Современная наука немыслима без этого понятия. Оно присутствует во всех разделах физики. Это и электрическая энергия, магнитная энергия, атомная энергия и т. п.

**Механическая энергия.** Энергия, изучаемая в механике, называется механической. Именно с неё мы и начнём знакомство с этим важным понятием.

При определённых условиях действующие на тело силы могут совершить механическую работу. Так, сила упругости совершает работу при расправлении пружины, поднимая груз (рис. 4.5, а). Сила тяжести совершил работу, если шарик отпустить и дать ему упасть на землю (рис. 4.5, б).

## Важно

Про тело, которое, действуя на другое тело с некоторой силой, может совершить работу, говорят, что оно обладает энергией. **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 шарик лежит на земле, а пружина совсем не деформирована, то эти тела механической энергией не обладают.

**Механическая энергия** обозначается буквой  $E$  и измеряется в тех же единицах, что и работа, т. е. в джоулях (1 Дж).

**Виды механической энергии.** Поскольку в механике изучают движе-

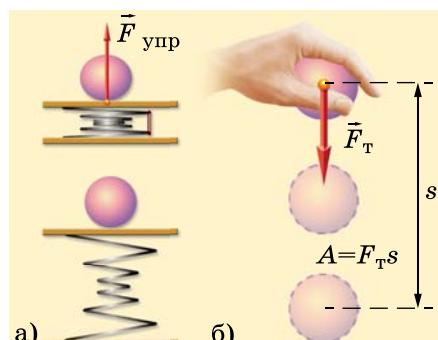
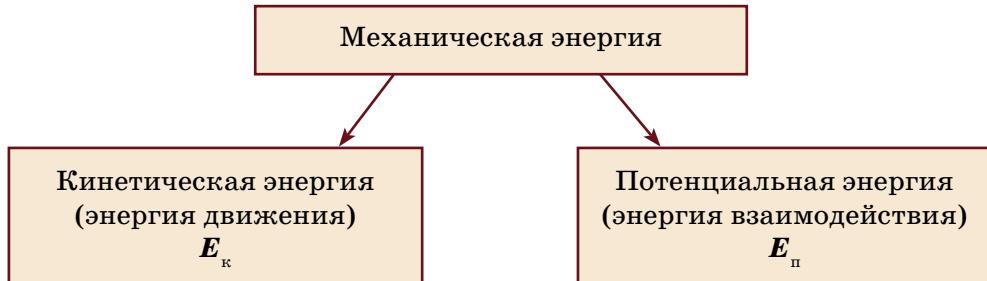


Рис. 4.5

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

ние тел и их взаимодействие друг с другом, то принято различать два вида механической энергии — энергию, обусловленную движением тел, и энергию, обусловленную их взаимодействием. Первая из них обозначается  $E_k$  и называется **кинетической энергией**, вторая обозначается  $E_p$  и называется **потенциальной энергией**.



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

### **Запомните**

Энергию, которой обладает тело вследствие своего движения, называют **кинетической** (от греч. *kinema* — движение) энергией.

Кинетическую энергию движущейся воды используют в работе гидроэлектростанций. Кинетическая энергия ветра приводит в движение лопасти ветряных двигателей, используемых для получения электрической энергии.



Тот факт, что движущееся тело способно совершить механическую работу, был известен 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 вправо и влево, а когда он набирал скорость, ударяли им о стену.

Обратимся ещё раз к примеру использования тарана. Очевидно, что чем толще и крепче стена, которую необходимо разрушить, тем большую механическую работу нужно совершить. При одной и той же скорости движения чем больше масса тарана, тем большей разрушительной силой он обладает. Следовательно, **кинетическая энергия тела зависит от его массы**.

И ёщё, чем быстрее таран движется, тем сильнее разрушения, которые он производит. Однако при появлении тяжёлых орудий на замену тарану пришли пушки. Почему? Всё дело в скорости, с которой движется пушечное ядро или снаряд. Невзирая на то, что их масса уступает массе тарана, разрушения, производимые ими, намного сильнее. Значит, *чем больше скорость движущегося тела, тем больше его кинетическая энергия*.

Интуитивно понятно, что в данном случае зависимость кинетической энергии от скорости сильнее, чем зависимость от массы.

Таким образом, **чем больше масса тела и скорость, с которой оно движется, тем больше его кинетическая энергия**.

### Запомните

Кинетическая энергия тела равна половине произведения массы тела на квадрат его скорости:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (29.1)$$

**Потенциальная энергия.** От чего может зависеть энергия поднятого мячика? Очевидно, что от высоты, на которой находится мячик, т. е. от взаимного расположения тел — мяча и 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 совершают силы, возникающие при взаимодействии этого тела с другим.

### Запомните

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

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

**Потенциальная энергия поднятого над Землёй тела.** Найдём потенциальную энергию тела, взаимодействующего с Землёй. Будем считать потенциальную энергию тела, лежащего на поверхности земли,

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

равной нулю (так как без приложения какой-либо силы к этому телу оно не может совершить механическую работу). Тогда потенциальная энергия тела, находящегося на некоторой высоте  $h$ , будет равна работе, необходимой для перемещения этого тела с поверхности земли на заданную высоту. При равномерном подъёме, когда прикладываемая к телу сила совпадает по значению с силой тяжести (рис. 4.6), эта работа может быть определена следующим образом:

$$A = F_s = F_{\text{т}} h = mgh.$$

Это и есть потенциальная энергия тела на высоте  $h$ .

### Запомните

Потенциальная энергия тела, взаимодействующего с Землёй, равна произведению массы этого тела, ускорению свободного падения и высоты, на которой находится тело.

$$E_{\text{п}} = mgh. \quad (29.2)$$

Положение тела, при котором его потенциальная энергия полагается равной нулю, обычно называют нулевым уровнем отсчёта потенциальной энергии. За нулевой уровень отсчёта потенциальной энергии тела необязательно выбирать тот, который расположен на поверхности Земли. Это может быть и уровень пола в помещении, и поверхность стола, и т. д. Нулевой уровень, от которого отсчитывается высота тела  $h$ , выбирают произвольно, руководствуясь обычно лишь соображениями удобства и простоты.

По формуле (29.2) находится потенциальная энергия тела, взаимодействующего с Землёй. Потенциальная энергия других взаимодействий находится по другим формулам.

**Тормозной путь автомобиля.** Умение определять кинетическую энергию тела помогает в решении многих практических задач.

Пусть машина массой  $m$ , движущаяся со скоростью  $v$ , начинает тормозить, чтобы остановиться. Путь  $s$ , который пройдёт машина с момента начала торможения до полной остановки, называют **тормозным путём**. На этом пути сила трения совершает отрицательную работу:

$$A = -F_{\text{тр}} s,$$

так как направление действия силы трения и движения противоположны.

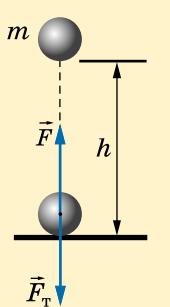


Рис. 4.6

Кинетическая энергия машины изменяется от максимального значения  $E_k = mv^2/2$  до 0. Изменение кинетической энергии также отрицательно и равно, как показывает опыт, совершенной работе, т. е.

$$\frac{mv^2}{2} = F_{\text{тр}} s.$$

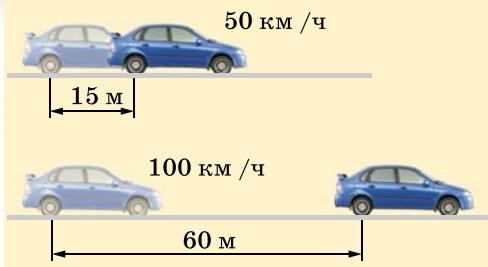


Рис. 4.7

Тормозной путь автомобиля пропорционален массе автомобиля и квадрату скорости, с которой автомобиль двигался до начала торможения. Таким образом, чем тяжелее автомобиль, тем длиннее будет его тормозной путь, если предположить, что до начала торможения движение происходило с одинаковой скоростью. Чем больше скорость движения автомобиля, тем длиннее будет его тормозной путь. Причём если скорость автомобиля вырастет в 2 раза, то тормозной путь в случае экстренного торможения увеличится в 4 раза (рис. 4.7).



1. Чем обусловлена кинетическая энергия?
2. Чему равна кинетическая энергия тела?
3. Чем обусловлена потенциальная энергия?
4. Чему равна потенциальная энергия тела, взаимодействующего с Землёй?
5. Как называется единица энергии?
6. В каком случае кинетическая энергия тела равна нулю?
7. Какой энергией — кинетической, потенциальной или обеими вместе — обладает летящий в небе самолёт?
8. Какой энергией обладает вода, удерживаемая плотиной, и какой энергией обладает вода, падающая с плотины?

Энергия. Механическая энергия. Кинетическая энергия.  
Потенциальная энергия

Найти

## § 30. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

### Вспомните

- Что такое энергия?
- Какие тела обладают потенциальной энергией?
- Какие тела обладают кинетической энергией?

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.

**Полная механическая энергия.** В общем случае тело обладает одновременно как кинетической, так и потенциальной энергией. Их сумму называют **полной механической энергией**:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}. \quad (30.1)$$

Это понятие было введено в 1847 г. немецким учёным Г. Гельмольцем.

**Превращение одного вида энергии в другой.** Что происходит с полной механической энергией по мере движения тела? Чтобы выяснить это, рассмотрим простое явление.

Бросим вертикально вверх мяч. Придав мячу скорость, мы тем самым сообщим ему некоторую кинетическую энергию. По мере движения мяча вверх его движение будет замедляться притяжением Земли и скорость, а вместе с ней и кинетическая энергия мяча будут становиться всё меньше и меньше. Потенциальная же энергия мяча вместе с высотой  $h$  будет при этом возрастать. В высшей точке траектории (на максимальной высоте) потенциальная энергия мяча достигнет своего наибольшего значения, а кинетическая энергия окажется равной нулю. После этого мяч начнёт падать вниз, постепенно набирая скорость. Кинетическая энергия при этом начнёт увеличиваться, а потенциальная энергия (из-за уменьшения высоты) — убывать. В момент удара о землю кинетическая энергия мяча достигнет максимального значения, а потенциальная энергия обратится в нуль.

### Важно

Когда кинетическая энергия тела уменьшается, потенциальная энергия возрастает, и наоборот, когда кинетическая энергия тела увеличивается, его потенциальная энергия убывает.

**Закон сохранения энергии.** Изучение свободного падения тела (в отсутствие сопротивления воздуха) показывает, что всякое уменьшение одного из этих видов энергии сопровождается равным увеличением другого вида энергии. Полная же механическая энергия тела при этом сохраняется. Это утверждение называют законом сохранения энергии.

**Запомните**

**Закон сохранения механической энергии** гласит: полная механическая энергия тела, на которое не действует сила трения, в процессе его движения остаётся неизменной.

Если обозначить начальную и конечную энергии тела через  $E$  и  $E'$ , то закон сохранения энергии можно выразить в виде:

$$E' = E. \quad (30.2)$$

Предположим, что свободно движущееся тело в начальный момент времени находилось на высоте  $h_0$  и имело при этом скорость  $v_0$ . Тогда его полная механическая энергия в этот момент времени была равна:

$$E = \frac{mv_0^2}{2} + mgh_0. \quad (30.3)$$

Если спустя некоторое время рассматриваемое тело окажется на высоте  $h$ , имея скорость  $v$  (рис. 4.8), то его полная механическая энергия станет равной:

$$E' = \frac{mv^2}{2} + mgh. \quad (30.4)$$

Согласно закону сохранения энергии оба эти значения энергии должны быть равны. Поэтому

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2} + mgh_0. \quad (30.5)$$

Если начальные значения  $h_0$  и  $v_0$  известны, то это уравнение позволяет найти скорость тела  $v$  на высоте  $h$  или, наоборот, высоту  $h$ , на которой тело будет иметь заданную скорость  $v$ . Масса тела при этом не имеет значения, так как в уравнении (30.5) она сокращается.

Следует помнить, что полная механическая энергия сохраняется лишь тогда, когда отсутствуют силы трения и сопротивления. Если же эти силы присутствуют, то их действие приводит к уменьшению механической энергии.

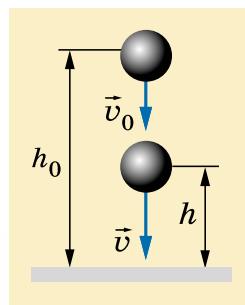


Рис. 4.8



В научной системе М. В. Ломоносова важное место занимают формулировки закона сохранения. Впервые он формулирует его в письме к Леонарду Эйлеру от 5 июля 1748 г. Здесь он пишет: «Но все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого, сколько часов я затрачиваю на сон, столько же отнимаю от бодрствования и т. д. Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает другое к движению, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому».



**Решение задач.** Мяч бросают с земли со скоростью 10 м/с. На какой высоте этот мяч будет иметь скорость, равную 6 м/с?

Дано:

$$h_0 = 0$$

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$v = 6 \text{ м/с}$$

$h - ?$

Решение:

По закону сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2}, \quad \frac{v^2}{2} + gh = \frac{v_0^2}{2},$$

$$\frac{36}{2} + 10h = \frac{100}{2},$$

$$h = 3,2 \text{ м.}$$

Ответ:  $h = 3,2 \text{ м.}$



- Что называют полной механической энергией?
- Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
- С какой энергией — кинетической или потенциальной — совпадает полная механическая энергия свободно падающего тела в момент удара о землю?
- С какой энергией совпадает полная механическая энергия брошенного вертикально вверх мяча в момент, когда он оказывается в высшей точке своего полёта?
- Что происходит с полной механической энергией тела при наличии сил трения и сопротивления?

Полная механическая энергия. Превращения энергии.  
Закон сохранения энергии

Найти



При подъёме на высокую гору альпинисты взяли с собой баллон с газом. Можно ли утверждать, что энергия топлива при этом увеличилась?

# § 31. Использование энергии движущейся воды и ветра

## Вспомните

- Что такое полная механическая энергия?
- Как формулируется закон сохранения полной механической энергии?
- Приведите примеры превращений 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 — энергию 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 близком будущем при существующих темпах их использования.

Возобновляемые источники энергии — это ветер, солнечный свет, течение рек, морские волны и течения, тепло Земли. К невозобновляемым источникам энергии относят нефть, газ и уголь.

Солнце является главным источником тепла и света на нашей планете. Жизнь на Земле существует лишь благодаря тому, что мы получаем от Солнца именно то количество энергии, которое необходимо для поддержания жизни всех её обитателей.

**Энергия движущейся воды.** Вода может обладать как кинетической, так и потенциальной энергией. Поднимая уровень воды в реке с помощью плотины, мы увеличиваем её потенциальную энергию. Например, высота Красноярской ГЭС на Енисее — 124 м. На такой высоте даже 1 м<sup>3</sup> воды обладает потенциальной энергией, превышающей миллион джоулей!

При падении воды её потенциальная энергия переходит в кинетическую. Кинетическую энергию движущейся воды используют для приведения в движение лопастей водяной турбины. Эта турбина заставляет вращаться вал электрического генератора, вырабатывающего электрический ток.



Одним из простейших и древнейших гидравлических устройств является *водяное колесо*. При подъёме воды на некоторый уровень в ней запасается соответствующая этому уровню потенциальная энергия, поэтому падающая вода может совершать работу. До середины XIX в. применялись водяные колёса, преобразующие энергию движущейся воды в механическую энергию вращающегося вала. В наше время из-за малой мощности водяного колеса используют водяные турбины (гидротурбины).

**Энергия ветра.** Кинетической энергией обладает и движущийся воздух — ветер. Его энергия используется в *ветряных двигателях* (рис. 4.9). Движущийся воздух действует на крылья или лопасти воздушного винта (ветроколеса) и приводит их в движение. Вращательное движение крыльев передаётся механизмам, выполняющим ту или иную работу. Это может быть добыча воды на горных пастбищах и в пустынях, подъём воды в водонапорные башни, получение электрической энергии и т. д. В Средние века широкое распространение имели ветряные мельницы.

Ветер не всегда дует с одной стороны. Когда его направление меняется, ветроколесо поворачивается. Это обеспечивается хвостовой пластиной, называемой флюгером. В современных ветряных двигателях удаётся регулировать даже частоту вращения винта. Скорость ветра, как известно, не постоянна. Чтобы иметь возможность учитывать её изменения, лопасти ветроколеса делают поворотными. Когда ветер усиливается, лопасти поворачиваются к нему почти ребром, когда ослабевает — всей плоскостью.

В то время как плотины ГЭС создают на реках искусственные моря, нарушая природное равновесие, ветроэнергетические станции гармонически вписываются в окружающую среду.

В отличие от тепловых и атомных электростанций, ветровые станции уже не требуют затрат топлива. Энергия ветра, используемая в них, поставляется самой природой (возобновляется). Кроме того, работа ветряных двигателей не сопровождается выделением вредных отходов. Поэтому ветряные двигатели являются экологически чистыми источниками энергии.

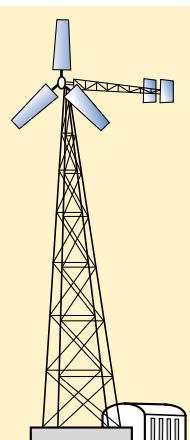


Рис. 4.9

**Приливные электростанции.** Экологически чистыми являются и приливные электростанции (ПЭС), использующие энергию приливов и отливов воды в морях и океанах. Несколько таких станций уже действует в нашей стране. Самая мощная из них — Мезенская ПЭС, расположенная на побережье Белого моря.



Существует мнение, что работа приливных электростанций тормозит вращение Земли, что может привести к негативным экологическим последствиям. Но масса Земли очень велика, поэтому влияние приливных электростанций незаметно. Учёные посчитали, что работа приливных электростанций суммарной мощностью 1000 ГВт будет увеличивать длительность суток лишь примерно на  $10^{-14}$  с в год.



1. Где применяется энергия движущейся воды? 2. Какая энергия используется в ветряных двигателях? 3. В чём заключается преимущество ветровых станций по сравнению с ГЭС, ТЭС и АЭС? 4. Что такое ПЭС?

Энергия воды. Энергия ветра. Гидроэлектростанции.

Водяное колесо. Ветровые электростанции.

Ветряные мельницы. Приливные электростанции

Найти



1. Природные источники энергии.
2. Источники энергии на Земле.
3. Источники энергии в космосе.
4. Источники энергии для бытовых устройств.
5. История «перpetуумobile».



- Возобновляемые и невозобновляемые источники энергии
- Солнечная энергия
- Термальные источники
- Энергия воды

## § 32. Рычаг

### Вспомните

- Что такое сила?

Сила человека ограничена, поэтому с древних времён для облегчения своего труда часто применяются различные механизмы (от греч. *mechanē* — машина, орудие), позволяющие преобразовать его силу в силу, существенно большую. Эти приспособления использовались людьми в строительстве, прокладке дорог, военном деле.

**Рычаг.** Примером подобного приспособления является рычаг.

### Запомните

Рычаг представляет собой твёрдое тело, способное вращаться вокруг неподвижной опоры.

В качестве рычага могут быть использованы лом, доска и подобные предметы. Различают два вида рычагов. У рычага 1-го рода неподвижная точка опоры  $O$  располагается между линиями действия приложенных сил (рис. 4.10), а у рычага 2-го рода она располагается по одну сторону от них (рис. 4.11).

**Выигрыш в силе.** Использование рычага позволяет получить *выигрыш в силе*. Так, например, рабочий, изображённый на рисунке 4.10, прикладывая к рычагу силу 400 Н, сможет приподнять груз весом 800 Н.

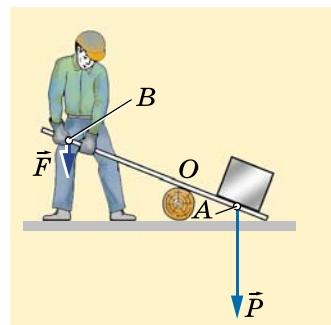


Рис. 4.10

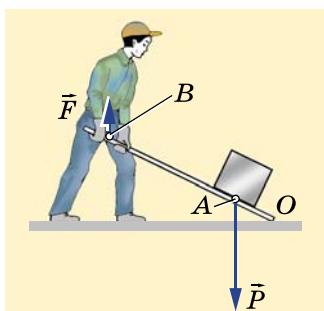


Рис. 4.11

Разделив 800 Н на 400 Н, мы получим выигрыш в силе, равный 2.

**Правило равновесия рычага.** Для расчёта выигрыша в силе, получаемого с помощью рычага, следует знать правило, открытое Архимедом ещё в III в. до н. э. Для установления этого правила проделаем опыт. Укрепим на штативе рычаг и по обе стороны от оси вращения прикрепим к нему грузы (рис. 4.12). Действующие на рычаг силы  $F_1$  и  $F_2$  равны весам этих грузов.

**Запомните**

**Плечом силы** называется 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.

Из опыта, изображённого на рисунке 4.12, видно, что если плечо одной силы (т. е. расстояние  $OA$ ) в 2 раза превышает плечо другой силы (расстояние  $OB$ ), то силой 2 Н можно уравновесить в 2 раза большую силу — 4 Н.

Для того чтобы уравновесить меньшей силой большую силу, необходимо, чтобы её плечо превышало плечо большей силы. Выигрыш в силе, получаемый с помощью рычага, определяется отношением плеч приложенных сил. В этом состоит правило рычага.

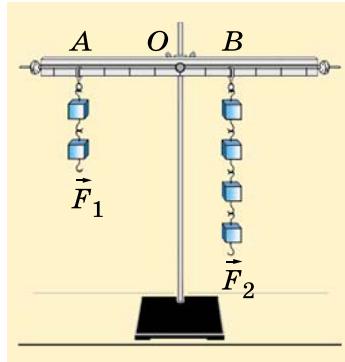


Рис. 4.12

**Запомните**

Обозначим плечи сил через  $l_1$  и  $l_2$  (рис. 4.13). Тогда **правило рычага** можно представить в виде следующей формулы:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (32.1)$$

Эта формула показывает, что *рычаг находится в равновесии, если отношение приложенных к нему сил обратно отношению их плеч.*

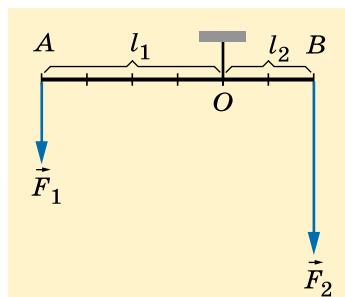


Рис. 4.13

**Применение рычага.** Рычаг начали применять в глубокой древности, например для подъёма тяжёлых каменных плит при постройке пирамид в Древнем Египте (рис. 4.14). Без рычага это было бы невозможно. Ведь, например, для возведения пирамиды Хеопса, имеющей высоту 147 м, было использовано более двух миллионов каменных глыб, самая меньшая из которых имела массу 2,5 т!

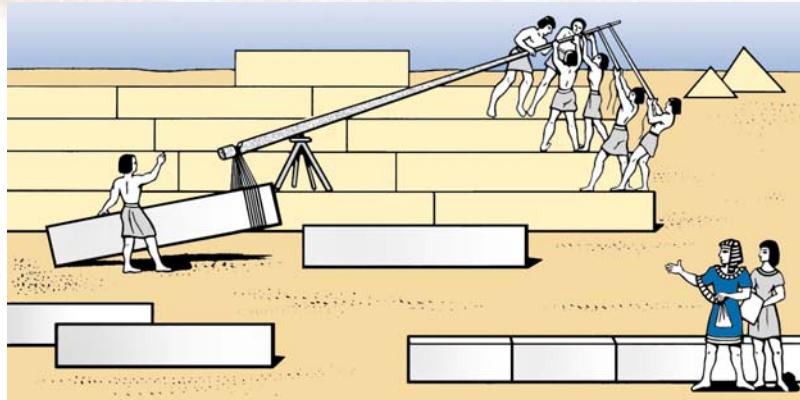


Рис. 4.14

В наше время рычаги широко применяются как на производстве (например, подъёмные краны), так и в быту (ножницы, кусачки, весы и т. п.).



Руку можно рассматривать как рычаг (рис. 4.15), точка опоры которого находится в локтевом суставе. Действующей силой  $F$  является сила двуглавой мышцы (бицепс), которая прикрепляется к бугорку лучевой кости. Преодолеваемым сопротивлением является груз весом  $P$ , приложенный к кисти. Тогда  $l_1$  — плечо веса груза (от локтевого сустава до места нахождения груза),  $l_2$  — плечо силы бицепса (от локтевого сустава до места прикрепления бицепса к предплечью).

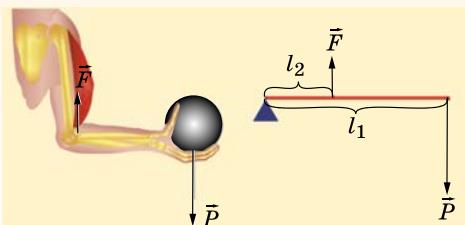


Рис. 4.15



**Решение задач.** К концам лёгкого стержня длиной 1 м подвешены грузы (рис. 4.16). Масса одного из них 120 г. Чему равна масса другого груза, если стержень вместе с грузами уравновешен на опоре, отстоящей от первого груза на 20 см?

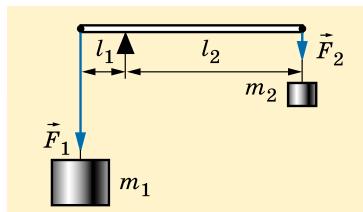


Рис. 4.16

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

**Дано:**  
 $l = 1 \text{ м}$   
 $m_1 = 120 \text{ г}$   
 $l_1 = 20 \text{ см}$

**СИ**  
1 м  
0,12 кг  
0,2 м

**Решение:**  
 $F_1 l_1 = F_2 l_2$ ,  $F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1$ ,  $l_2 = l - l_1 = 0,8 \text{ м}$ ,  
 $F_1 = m_1 g = 1,2 \text{ Н}$ ,  
 $F_2 = \frac{0,2}{0,8} \cdot 1,2 \text{ Н} = 0,3 \text{ Н}$ ,  
 $m_2 = \frac{F_2}{g}$ ,  $m_2 = \frac{0,3}{10} \text{ кг} = 0,03 \text{ кг}$ .

$m_2 — ?$  ... кг

**Ответ:**  $m_2 = 30 \text{ г}$ .



Положите под середину линейки карандаш так, чтобы линейка находилась в равновесии. Не меняя взаимного расположения линейки и карандаша, уравновесьте на полученном рычаге одну монету с одной стороны и стопку из трёх таких же монет с другой стороны. Измерьте плечи приложенных (со стороны монет) сил и проверьте правило рычага.



- Что представляет собой рычаг?
- В чём заключается правило рычага? Кто его открыл?
- Чем отличается рычаг 1-го рода от рычага 2-го рода?
- Приведите примеры применения рычагов.
- Рассмотрите рисунки 4.17, а и 4.17, б. В каком случае груз нести легче? Почему?

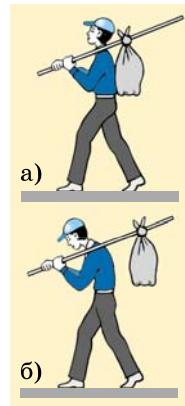


Рис. 4.17

Рычаг. Рычаг 1-го рода, рычаг 2-го рода.

Выигрыш в силе. Правило равновесия рычага

Найти



- 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?



- Как строили египетские пирамиды?
- Самые простые механизмы. От древности до наших дней.
- Как используются простые механизмы в живой природе?
- Рычаги в человеческом теле.



- Простые механизмы в живой природе (кости конечностей, череп, фаланги пальцев, зубы, рога, когти и др., рычажные приспособления растений)

# § 33. Момент силы.

## ПРАВИЛО МОМЕНТОВ

### Вспомните

- Что такое сила?
- Что такое рычаг?
- Что такое плечо силы?

С тех пор как Архимед установил правило рычага, оно просуществовало в первозданном виде почти 1900 лет. И лишь в XVII в. правило рычага было выражено в более общей форме с помощью понятия момента силы.

### Момент силы.

### Запомните

**Моментом силы** называется физическая величина, равная произведению силы на её плечо:

$$M = Fl, \quad (33.1)$$

где  $M$  — момент силы,  $F$  — сила,  $l$  — плечо силы.

**Правило моментов.** Докажем, что *рычаг находится в равновесии, если момент силы, вращающей его по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающей его против часовой стрелки*, т. е.

$$M_1 = M_2. \quad (33.2)$$

Для доказательства этого равенства воспользуемся формулой (32.1). Воспользовавшись свойством пропорции (произведение крайних членов пропорции равно произведению её средних членов), перепишем эту формулу в виде  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ .

Но  $F_2 l_2 = M_2$  — момент силы, стремящейся повернуть рычаг по часовой стрелке (см. рис. 4.13), а  $F_1 l_1 = M_1$  — момент силы, стремящейся повернуть рычаг против часовой стрелки. Таким образом,  $M_1 = M_2$ , что и требовалось доказать.

Формула (33.2) выражает *правило моментов*.

### Запомните

**Правило моментов** гласит: *рычаг находится в равновесии, если момент силы, вращающей его по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающей его против часовой стрелки:  $M_1 = M_2$ .*

Это правило справедливо для любого твёрдого тела, способного вращаться вокруг закреплённой оси. Таково, например, тело, изображённое на рисунке 4.18. Ось вращения этого тела перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через точку, обозначенную буквой  $O$ . Плечом силы  $F_1$  в данном случае является расстояние  $l_1$  от оси вращения до линии действия силы.

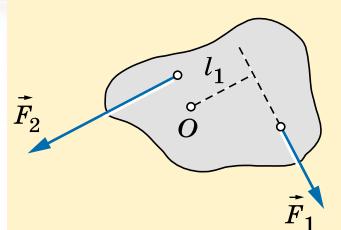


Рис. 4.18

**Как определить момент силы.** В общем случае момент силы находят следующим образом. Сначала проводят линию действия силы. Затем из точки  $O$ , через которую проходит ось вращения, опускают на линию действия силы перпендикуляр. Длина этого перпендикуляра является плечом данной силы. Умножив силу на её плечо, получают момент силы относительно оси вращения.

**Важно**

Момент силы характеризует вращательное действие силы.

Это действие зависит как от силы, так и от её плеча. Именно поэтому, например, желая открыть дверь, стараются приложить силу как можно дальше от оси вращения. С помощью небольшой силы при этом создают значительный момент, и дверь открывается. Открыть её, оказывая давление около петель, значительно труднее. По той же причине гайку легче отворачивать более длинным гаечным ключом, шуруп легче вывернуть с помощью отвёртки с более широкой ручкой и т. п.

**Единицы момента силы.** Единицей момента силы в СИ является *ньютон-метр* ( $1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ).  $1 \text{ Н}\cdot\text{м}$  — это момент силы  $1 \text{ Н}$ , имеющей плечо  $1 \text{ м}$ .



**Решение задач.** 1. С помощью рисунка (рис. 4.19) 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  $4 \text{ Н}$ , её плечо составляет  $2 \text{ м}$ .

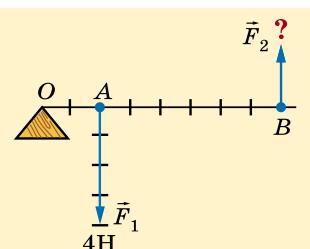


Рис. 4.19

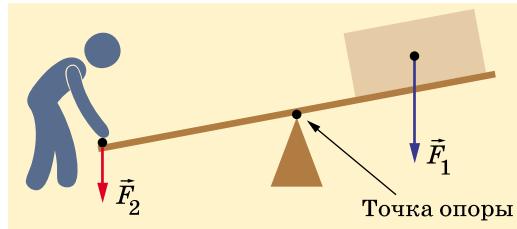
## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

Расстояние от точки  $O$  до точки  $B$  равно 8 единицам, а это и есть плечо силы  $F_2$ .

Так как  $F_1 \cdot l_1 = 2 \cdot 4 = 8$ , то  $F_2 \cdot l_2 = 8$ .

Поэтому сила  $F_2$ , уравновешивающая силу  $F_1$ , должна быть равна 1 единице и направлена в противоположную сторону.

**2.** Рабочий приподнимает при помощи рычага плиту массой 100 кг. Короткое плечо рычага равно 0,8 м, а длинное — 1,2 м. Чему равна сила, которую должен приложить рабочий к длинному плечу рычага?



Дано:

$$\begin{aligned}m &= 100 \text{ кг} \\g &= 9,8 \text{ Н/кг} \\l_1 &= 0,8 \text{ м} \\l_2 &= 1,2 \text{ м}\end{aligned}$$

$F_2$  — ?

Решение:

По правилу моментов  $M_1 = M_2$ , или  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ ,  
тогда  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ .

В данном случае плита действует на рычаг с силой, равной её весу:  $F_1 = P = mg$ ,

тогда  $\frac{P}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ , или  $F_2 = P \frac{l_1}{l_2} = mg \frac{l_1}{l_2}$ .

Подставив числовое значение, найдём

$$F_2 = 100 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{0,8 \text{ м}}{1,2 \text{ м}} = 653,3 \text{ Н.}$$

Ответ:  $F_2 = 653,3 \text{ Н.}$

?

1. Что называют моментом силы?
2. Сформулируйте правило моментов.
3. Что характеризует момент силы?
4. Почему ручку у двери прикрепляют на противоположной от петель стороне?
5. Как находится момент силы в общем случае?
6. Что принимают за единицу момента силы?

Момент силы. Правило моментов

Найти

## § 34. Блок

### Вспомните

- 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.

### Блок.

### Запомните

**Блок** представляет собой устройство, имеющее форму колеса с жёлобом, по которому пропускают верёвку, трос или цепь.

Различают два основных вида блоков — подвижный и неподвижный.

### Важно

У *неподвижного* блока ось закреплена и при подъёме грузов не поднимается и не опускается (рис. 4.20), а у *подвижного* блока ось перемещается вместе с грузом (рис. 4.21).

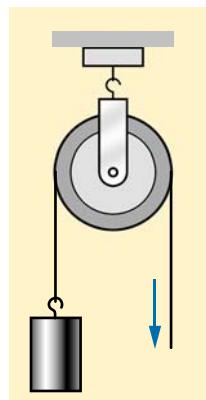


Рис. 4.20

**Блок и выигрыш в силе.** *Неподвижный* блок не даёт выигрыша в силе. Его применяют для того, чтобы изменить направление действия силы. Так, например, прикладывая к верёвке, перекинутой через такой блок, силу, направленную вниз, мы заставляем груз подниматься вверх (см. рис. 4.20).

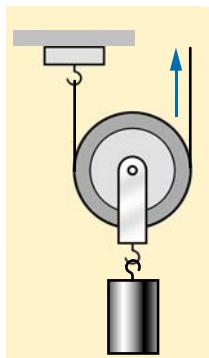


Рис. 4.21

Подвижный же блок позволяет небольшой силой уравновесить силу, в 2 раза большую. Для доказательства этого обратимся к рисунку 4.22. Прикладывая силу  $F$ , мы стремимся повернуть блок вокруг оси, проходящей через точку  $O$ . Момент этой силы равен произведению  $Fl$ , где  $l$  — плечо силы  $F$ , равное диаметру блока  $OB$ . Одновременно с этим прикреплённый к блоку груз своим весом  $P$  создаёт момент, равный  $P \frac{l}{2}$ , где  $\frac{l}{2}$  — плечо силы  $P$ , равное радиусу блока  $OA$ . Согласно правилу моментов (33.2)

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

$$Fl = P \frac{l}{2}, \quad (34.1)$$

откуда

$$F = \frac{P}{2}, \quad (34.2)$$

что и требовалось доказать.

Из формулы (34.2) следует, что  $P/F = 2$ . Это означает, что *выигрыш в силе, получаемый с помощью подвижного блока, равен 2*.

Опыт, изображённый на рисунке 4.23, подтверждает этот вывод.

В действительности с помощью таких блоков, изображённых на рисунке 4.24, мы получаем выигрыш в силе примерно в 2 раза больше, если массы самих блоков много меньше массы поднимаемого груза и трение в блоках мало.

**Комбинация подвижного блока с неподвижным.** На практике часто применяют комбинацию подвижного блока с неподвижным. Это позволяет изменить направление силового воздействия с одновременным двукратным выигрышем в силе.

Для получения большего выигрыша в силе применяют грузоподъёмный механизм, называемый **полиспастом**. Греческое слово «полиспаст» образовано из двух корней: «поли» — много и «спао» — тяну, так что в целом получается «многотяг».

Полиспаст представляет собой комбинацию из двух обойм, одна из которых

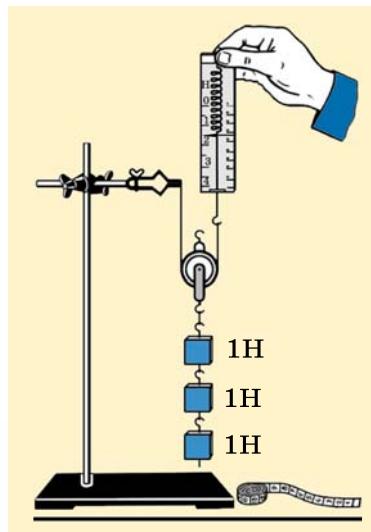


Рис. 4.23

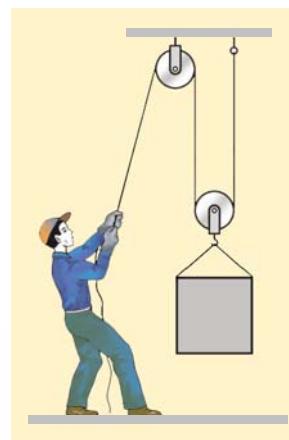


Рис. 4.24

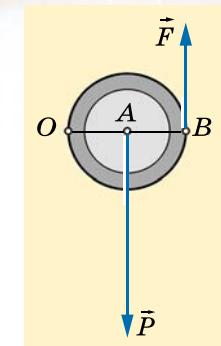


Рис. 4.22

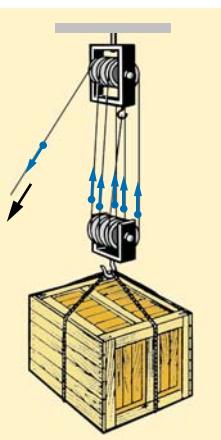


Рис. 4.25

состоит из трёх неподвижных блоков, а другая — из трёх подвижных блоков (рис. 4.25). Поскольку каждый из подвижных блоков удваивает силу тяги, то в целом полиспаст даёт шестикратный выигрыш в силе.

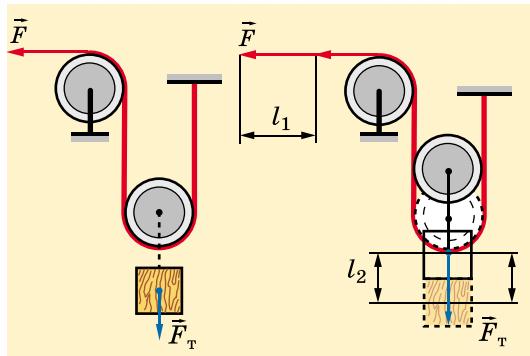


Рис. 4.26



**Решение задач.** Какую силу надо приложить, чтобы при помощи изображённой системы блоков (рис. 4.26) поднять груз массой 70 кг? На сколько поднимется груз, если вытянуть верёвку на 40 см?

Дано:

$$\begin{aligned} m &= 70 \text{ кг} \\ l_1 &= 40 \text{ см} \end{aligned}$$

$F$  — ?

$l_2$  — ?

Решение:

Сила тяжести, действующая на груз, равна  $F_T = mg$ .  $F_T = 70 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} = 700 \text{ Н}$ .

Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза, следовательно, для поднятия этого груза надо приложить силу  $F = \frac{F_T}{2} = \frac{700}{2} \text{ Н} = 350 \text{ Н}$ .

Если при этом верёвка вытянется на 40 см, то груз поднимется на 20 см.

Ответ:  $F = 350 \text{ Н}$ ,  $l_2 = 20 \text{ см}$ .



1. Какие два вида блоков вы знаете?
2. Чем отличается подвижный блок от неподвижного?
3. Для какой цели применяют неподвижный блок?
4. Для чего используют подвижный блок?
5. Что представляет собой полиспаст? Какой выигрыш в силе он даёт?

Блок. Подвижный блок, неподвижный блок.

Система блоков. Полиспаст

Найти



Использование системы блоков.

## § 35. ДРУГИЕ МЕХАНИЗМЫ

### Вспомните

- Что такое сила?
- Что такое рычаг?
- Что такое плечо силы?
- Что такое выигрыш в силе?

### Простые механизмы.

### Запомните

Механические устройства, служащие для преобразования значения или направления силы, называют **простыми механизмами**.

К таким механизмам относятся не только рассмотренные нами рычаги и блоки, но и ряд других приспособлений (например, клин, винт, наклонная плоскость, ворот).

**Ворот.** Ворот состоит из цилиндра (барбана) и прикреплённой к нему рукоятки. Этот простой механизм был изобретён в глубокой древности. Чаще всего его применяли для подъёма воды из колодцев (рис. 4.27).



Рис. 4.27

### Важно

**Выигрыш в силе**, даваемый воротом, определяется отношением радиуса окружности, описываемой рукояткой, к радиусу цилиндра, на который намотана верёвка.

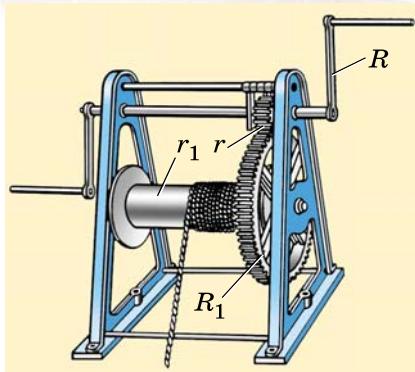
**Лебёдка.** Более совершенным механизмом является лебёдка (рис. 4.28). Она представляет собой сочетание ворота с двумя зубчатыми колёсами разного диаметра.

Лебёдку можно рассматривать как комбинацию двух воротов. Один из них (рукоятка + малое зубчатое колесо) даёт выигрыш в силе, равный отношению  $R/r$  (см. рис. 4.28); другой (большое зубчатое колесо + цилиндр, на который наматывается верёвка) даёт выигрыш в силе, равный отношению  $R_1/r_1$ . Поэтому совокупное действие двух меха-

низмов позволяет с помощью лебёдки получать значительно больший выигрыш в силе, чем обычный ворот.

**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.

Рис. 4.28



**Важно** Выигрыш в силе, обеспечиваемый наклонной плоскостью, равен отношению длины наклонной плоскости к высоте, на которую поднимается груз:  $l/h$ .



Клин и винт — это одна из разновидностей наклонной плоскости. Клин (рис. 4.29) представляет собой две наклонные плоскости, основания которых соприкасаются.

Топор представляет собой клин с ручкой. Под действием приложенной силы лезвие глубоко входит в дерево, в результате чего волокна древесины не только разрезаются, но и раздвигаются.

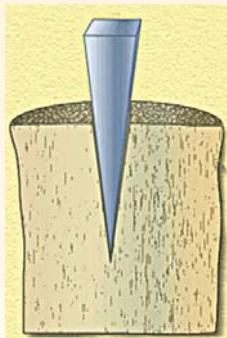


Рис. 4.29

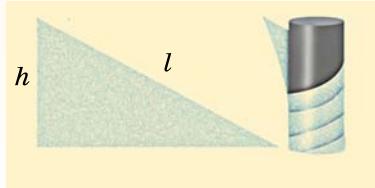


Рис. 4.30

Винт (рис. 4.30) представляет собой наклонную плоскость в виде резьбы, «навёрнутой» на стержень. Вращая винт, мы на большем расстоянии прикладываем меньшее усилие.

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

**Баллиста и катапульта.** В древние времена многие простые механизмы использовались в военных целях. Это баллисты (рис. 4.31), катапульты (рис. 4.32) и другие устройства. Особенно большим количеством изобретений в этой области прославился Архимед.

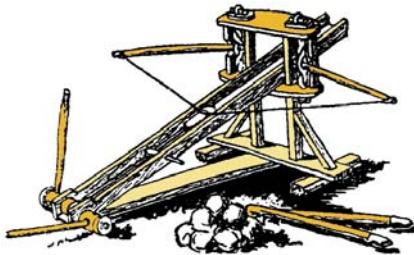


Рис. 4.31



Рис. 4.32



Когда римские войска осадили Сиракузы, 75-летний Архимед возглавил оборону родного города. Сконструированные им механизмы поразили воображение современников. Огромный урон, наносимый римским войскам «железными лапами» и метательными машинами Архимеда, привёл, по словам Плутарха, к тому, что «римляне стали так трусливы, что если замечали, что над стеной движется кусок каната или бревно, то кричали: «Вот, вот оно!» — и, думая, что Архимед хочет направить на них какую-нибудь машину, ударялись в бегство». Несколько месяцев длилась осада Сиракуз, и лишь с помощью предателей, открывших ворота, римляне наконец смогли ворваться в город. «Немало примеров гнусной злобы и гнусной алчности можно было бы припомнить,— пишет Тит Ливий (I в. до н. э.) о разграблении Сиракуз,— но самый знаменитый между ними — убийство Архимеда. Среди дикого смятения, под крики и топот озверевших солдат, Архимед спокойно размышлял, рассматривая начертанные на песке фигуры, и какой-то грабитель заколол его мечом, даже не подозревая, кто это» (рис. 4.33).

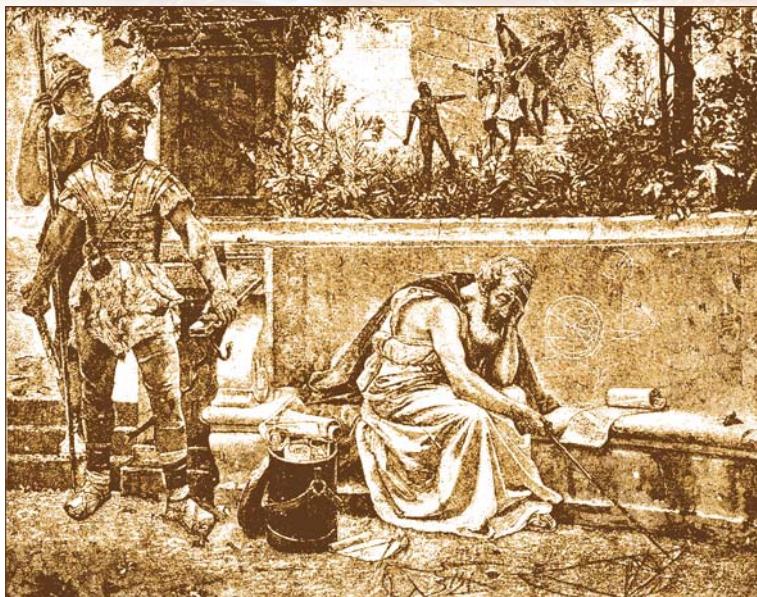


Рис. 4.33



1. Что называют простыми механизмами?
2. Какие простые механизмы вы знаете?
3. Что представляет собой ворот?
4. Чем определяется даваемый им выигрыш в силе?
5. Из каких частей состоит лебёдка?
6. В каких военных машинах древности применялись простые механизмы?

Простые механизмы, ворот, лебёдка, наклонная плоскость, баллиста, катапульта. Архимед

Найти

Механизмы Архимеда.



- Использование простых механизмов для строительства, шитья, приготовления пищи (топор, винт, кусачки, ножницы, мясорубка, нож и др.)

## § 36. Коэффициент полезного действия

### Вспомните

- Какие виды простых механизмов вы знаете?
- Что такое выигрыш в силе?
- Что такое механическая работа?
- Как определить механическую работу?

Используя тот или иной механизм, мы совершаём работу, всегда превышающую ту, которая нам необходима.

**Полная и полезная работа.** Различают полную, или *совершённую, работу*  $A_c$  и *полезную работу*  $A_n$ . Если, например, наша цель — поднять груз массой  $m$  на высоту  $h$ , то полезная работа — это та, которая обусловлена лишь преодолением силы тяжести, действующей на груз. При равномерном подъёме груза, когда прикладываемая нами сила равна силе тяжести груза, эта работа может быть найдена следующим образом:

$$A_n = F_t h = mgh. \quad (36.1)$$

Если же мы применяем для подъёма груза блок или какой-либо другой механизм, то, кроме силы тяжести груза, нам приходится преодолевать ещё и силу тяжести частей механизма, а также действующую в механизме силу трения. Например, используя подвижный блок, мы вынуждены будем совершать дополнительную работу по подъёму самого блока с тросом и по преодолению силы трения в оси блока. Кроме того, выигрывая в силе, мы всегда проигрываем в пути (об этом подробнее будет рассказано позже), что также влияет на работу. Всё это приводит к тому, что совершённая нами работа оказывается больше полезной:

$$A_c > A_n.$$

### Важно

Полезная работа всегда составляет лишь некоторую часть полной работы, которую совершают человек, используя механизм.

**Коэффициент полезного действия.****Запомните**

Физическая величина, показывающая, какую долю составляет полезная работа от всей совершённой работы, называется **коэффициентом полезного действия механизма**.

Сокращённое обозначение коэффициента полезного действия — КПД.

**Запомните**

Чтобы найти КПД механизма, надо полезную работу разделить на ту, которая была совершена при использовании данного механизма.

Коэффициент полезного действия часто выражают в процентах и обозначают греческой буквой  $\eta$  (читается «эта»):

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}} \cdot 100 \% . \quad (36.2)$$

Поскольку числитель  $A_{\text{п}}$  в этой формуле всегда меньше знаменателя  $A_{\text{с}}$ , то КПД всегда оказывается меньше 1 (или 100 %).



В настоящее время наиболее распространённым способом получения электроэнергии является способ её производства на тепловых электростанциях. В котлах сжигается топливо и образуется пар, который вращает паровую турбину, соединённую с электрогенератором, вырабатывающим электрический ток. При этом КПД лучших котлов составляет 50–55 %, КПД паровых турбин — 30–40 %, КПД современных генераторов достигает 95 %, а КПД передающих электрических линий — 60–70 %. При получении электричества таким способом общий КПД будет 11–16 %.

Для двигателя легкового автомобиля КПД составляет 25–30 %. Это значит, что 25–30 % сгоревшего топлива используется на передвижение автомобиля с грузом. Полезный груз — пассажиры — составляет максимум 30 % от веса гружёного автомобиля. Тогда полезное использование топлива в автомобилях получается равным от 4,5 до 7,5 %.

**Как увеличить КПД.** Конструируя механизмы, стремятся увеличить их КПД. Для этого уменьшают трение в осях механизмов и их массу.

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

В тех случаях, когда трение ничтожно мало и используемые механизмы имеют массу, пренебрежимо малую по сравнению с массой поднимаемого груза, коэффициент полезного действия оказывается лишь немного меньше 1. В этом случае совершённую работу можно считать примерно равной полезной работе:

$$A_c \approx A_{\text{п}}. \quad (36.3)$$

**«Золотое правило» механики.** Следует помнить, что *выигрыша в работе с помощью простого механизма получить нельзя*.

Опыты показывают, что, поднимая тяжёлый груз с помощью рычага, за одно и то же время точка приложения меньшей силы  $F_2$  проходит больший путь  $s_2$ , чем точка приложения большей силы  $F_1$  (путь  $s_1$ ).

Многократные опыты и тщательные измерения показывают, что всегда пути, пройденные точками приложения сил на рычаге, обратно пропорциональны силам:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}. \quad (36.4)$$

Предположим, что силы, приложенные к рычагу, равны соответственно  $F_1 = 100 \text{ Н}$ ,  $F_2 = 20 \text{ Н}$ . Пусть при этом путь, пройденный точкой приложения силы  $F_1$ , равен  $s_1 = 20 \text{ см}$ . Тогда, учитывая формулу (36.4), путь, пройденный точкой приложения силы  $F_2$ , будет равен  $s_2 = 1 \text{ м}$ .

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.

### Запомните

«Золотое правило» механики заключается в том, что ни один из механизмов не даёт выигрыша в работе. Применяют же различные механизмы для того, чтобы выиграть в силе или пути.

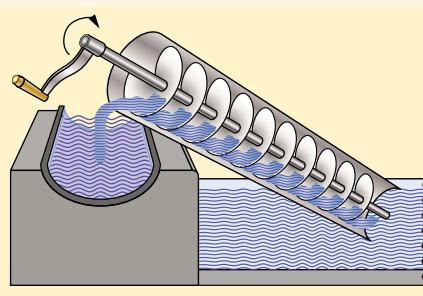
Его автором является древнегреческий учёный Герон Александрийский, живший в I в. н. э.

«Золотое правило» механики является приближённым законом, так как в нём не учитывается работа по преодолению трения и силы тяжести частей используемых приспособлений. Тем не менее оно бывает очень полезным при анализе работы любого простого механизма.

Так, например, благодаря этому правилу мы сразу можем сказать, что рабочему, изображённому на рисунке 4.10, при двукратном выигрыше в силе для подъёма груза на 10 см придётся опустить противоположный конец рычага на 20 см. То же самое будет и в случае, изображённом на рисунке 4.24. Когда рука человека, держащего вёрёвку, опустится на 20 см, груз, прикреплённый к подвижному блоку, поднимется лишь на 10 см.



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.



Винт Архимеда



**Решение задачи.** Пусть на коротком плече рычага закреплён груз массой 100 кг (рис. 4.34). Для его подъёма к длинному плечу приложили силу, равную 250 Н. Груз подняли на высоту  $h_1 = 0,08$  м, при этом точка приложения движущей силы опустилась на высоту  $h_2 = 0,4$  м. Найти КПД рычага.

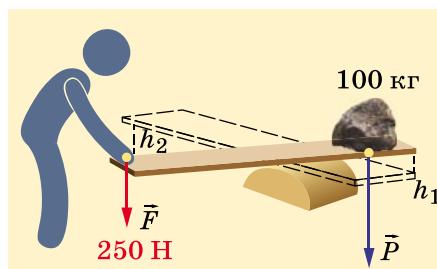


Рис. 4.34

## ГЛАВА 4. Работа, мощность, энергия

Дано:

$$m = 100 \text{ кг}$$

$$F = 250 \text{ Н}$$

$$h_1 = 0,08 \text{ м}$$

$$h_2 = 0,4 \text{ м}$$

$$\eta - ?$$

Решение:

КПД находится по формуле  $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}} \cdot 100 \%$ .

Полная (затраченная) работа:  $A_{\text{с}} = Fh_2$ .

Полезная работа:  $A_{\text{п}} = Ph_1$ , где  $P$  – вес груза.

$$P = mg = 100 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 980 \text{ Н.}$$

Получаем

$$A_{\text{п}} = 980 \text{ Н} \cdot 0,08 \text{ м} = 78,4 \text{ Дж.}$$

$$A_{\text{с}} = 250 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м} = 100 \text{ Дж.}$$

$$\text{Тогда } \eta = \frac{78,4 \text{ Дж}}{100 \text{ Дж}} \cdot 100 \%$$

Ответ: КПД рычага  $\eta = 78,4 \%$ .



- Почему полная работа при использовании механизмов всегда больше полезной работы?
- Что называют коэффициентом полезного действия механизма?
- Может ли КПД механизма быть равным 1 (или 100%)? Почему?
- Каким образом увеличивают КПД?
- В чём заключается «золотое правило» механики? Кто его автор?
- Приведите примеры проявления «золотого правила» механики при использовании различных простых механизмов.

Полная работа. Полезная работа. Коэффициент полезного действия. «Золотое правило» механики.  
Герон Александрийский

Найти



- Механизмы с идеальным КПД.
- Как повысить КПД?

## ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ

Прочитайте текст. Запомните, что означают выделенные в тексте слова. Подготовьтесь рассказать о прочитанном своими словами. Приведите примеры, иллюстрирующие сказанное.

Если тело движется по прямой и на него действует сила, направленная вдоль той же прямой, то можно найти работу этой силы. **Работа** — физическая величина, которая равна произведению силы на путь, обозначается буквой  $A$  и выражается в джоулях (1 Дж).

**Мощность** — физическая величина, характеризующая быстроту совершения работы и показывающая, какая работа совершается в единицу времени. Мощность обозначается буквой  $N$  и выражается в ваттах (1 Вт).

Закон сохранения энергии — фундаментальный закон природы, выполняется при превращении и изменении механической энергии. Существует два вида **механической энергии** — **кинетическая** и **потенциальная**. Их сумма — это **полная механическая энергия**. Полная механическая энергия сохраняется, если на тело не действуют силы трения и сопротивления среды.

Для совершения работы используют **простые механизмы** — наклонную плоскость, рычаг, блоки, полиспаст и др. Полная работа, совершаемая человеком или механизмом, всегда больше полезной. **Коэффициент полезного действия** показывает, во сколько раз различаются полная совершённая работа и полезная работа или сколько процентов от полной работы составляет полезная работа.

Для создания разных машин и устройств важно знать **условие равновесия** тел. Это условие выражается с помощью физической величины — момента силы. **Момент силы** равен произведению силы на плечо силы, обозначается буквой  $M$  и выражается в ньютонах на метр (1 Н·м). **Плечо силы** — расстояние от оси вращения до линии действия силы, которое обозначается буквой  $l$  и выражается в метрах (1 м). Тело не вращается, если момент силы, вращающей тело по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающей тело против часовой стрелки.

Для рычага условие равновесия — это **правило рычага**, согласно которому рычаг находится в равновесии, если отношение сил, действующих на рычаг, обратно отношению плеч рычага.

### Запомните

*Запомните эти формулы:*

$$A = \pm F_s, \quad N = \frac{A}{t}, \quad E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}, \quad E_{\text{п}} = mgh, \quad E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}},$$

$$M = Fl, \quad M_1 = M_2, \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}, \quad \eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}} \cdot 100 \%$$

# ГЛАВА 5

## ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

### § 37. ДАВЛЕНИЕ

#### Вспомните

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

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

**Давление.** Проделаем опыт.

Возьмём небольшую доску, в углы которой вбиты четыре гвоздя, и поместим её остриями вверх на песок. Сверху на неё поставим гирю (рис. 5.1, а). Мы увидим, что шляпки гвоздей лишь незначительно вдавятся в песок. Если же мы перевернём доску и снова поставим её (вместе с гирей) на песок, то теперь гвозди войдут в него значительно глубже (рис. 5.1, б). В обоих случаях вес доски был одним и тем же, однако эффект оказался разным. Почему?

Вся разница в рассматриваемых случаях заключалась в том, что площадь поверхности, на которую опирались гвозди, в одном случае была больше, а в другом меньше. Ведь сначала песка касались шляпки гвоздей, а затем их острия.

#### Важно

Мы видим, что результат действия силы зависит не только от её модуля, направления и точки приложения, но и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует.

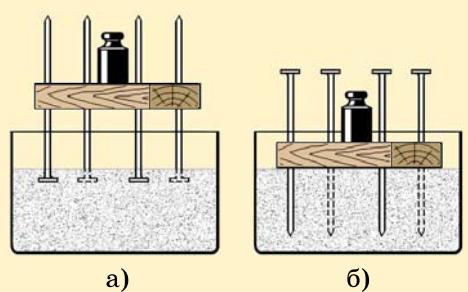


Рис. 5.1

Именно по этой причине человек, скользящий по рыхлому снегу на лыжах, сразу же провалится в него, как только их снимет (рис. 5.2).

Но дело не только в площади. Важно и значение прикладываемой силы. Если, например, на ту же доску (см. рис. 5.1) поставить ещё одну гирю, то гвозди (при той же площади опоры) погрусятся в песок ещё глубже.

Во всех рассмотренных примерах речь шла о силе, приложенной к опоре и направленной перпендикулярно её поверхности.



Рис. 5.2

**Запомните**

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

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

$$p = \frac{F}{S}, \quad (37.1)$$

где  $p$  — давление,  $F$  — сила,  $S$  — площадь.

**Изменение давления.** При одной и той же силе давление больше в том случае, когда площадь опоры меньше, и наоборот, чем больше площадь опоры, тем давление меньше (рис. 5.3).

При одной и той же площади опоры давление больше в том случае, когда сила, действующая на опору, больше (рис. 5.4).

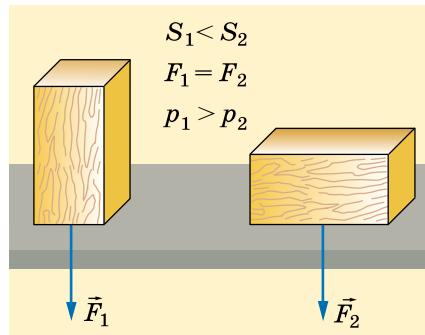


Рис. 5.3

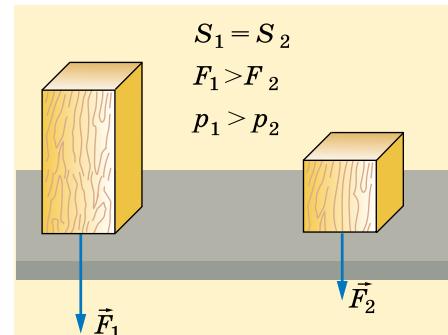


Рис. 5.4

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

**Как определить давление, если силой, действующей на поверхность, является вес.** В тех случаях, когда силой, действующей на поверхность, является вес находящегося на поверхности тела ( $F = P = mg$ ), давление, оказываемое телом, можно найти по формуле

### Запомните

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

**Как определить силу, действующую на поверхность.** Если давление  $p$  и площадь  $S$  известны, то можно определить силу  $F$ , действующую на поверхность, для этого надо давление умножить на площадь:

$$F = pS. \quad (37.2)$$

**Единицы давления.** Сила измеряется в ньютонах. Давление же измеряется в паскалях.

### Важно

**Паскаль (1 Па) — это такое давление, которое производит сила 1 Н, действующая на поверхность площадью 1 м<sup>2</sup> перпендикулярно этой поверхности: 1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup>.**

Используются также другие единицы давления — **гектопаскаль (1 гПа)** и **килопаскаль (1 кПа)**: 1 гПа = 100 Па, 1 кПа = 1000 Па.



**Решение задач.** Человек нажимает на лопату с силой 600 Н. Какое давление оказывает лопата на почву, если ширина её лезвия 20 см, а толщина режущего края 0,5 мм?

Дано:

$$F = 600 \text{ Н}$$

$$a = 20 \text{ см}$$

$$b = 0,5 \text{ мм}$$

СИ

$$600 \text{ Н}$$

$$0,2 \text{ м}$$

$$0,0005 \text{ м}$$

Решение:

$$p = \frac{F}{S}, \quad S = ab,$$

$$S = 0,2 \text{ м} \cdot 0,0005 \text{ м} = 0,0001 \text{ м}^2,$$

$$p = \frac{600 \text{ Н}}{0,0001 \text{ м}^2} = 6 \ 000 \ 000 \text{ Па}.$$

$$p = ?$$

... Па

Ответ:  $p = 6 \text{ МПа}.$



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. Почему острая кнопка легче входит в дерево, чем тупая? 4. Что называют давлением? 5. Какие вы знаете единицы давления? 6. Как можно найти силу, действующую на поверхность, зная давление и площадь поверхности?

Давление. Сила. Как увеличить и уменьшить давление

Найти

## § 38. ДАВЛЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

### Вспомните

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

Мы знаем, что чем больше площадь опоры, тем меньше давление, производимое данной силой, и наоборот, с уменьшением площади опоры (при неизменной силе) давление возрастает. Поэтому в зависимости от того, хотят ли получить малое или большое давление, площадь опоры увеличивают или уменьшают.

**Уменьшение давления.** Например, для того чтобы грунт мог выдержать давление возводимого здания, увеличивают площадь нижней части фундамента.

Шины грузовых машин и шасси самолётов делают значительно шире, чем шины легковых автомобилей (рис. 5.5). Особенно широкими делают шины у автомобилей, предназначенных для передвижения в пустынях.

Тяжёлые машины, такие как трактор, танк или болотоход, имея большую опорную площадь гусениц, иногда могут проехать по такой (например, болотистой) местности, по которой не всегда пройдёт человек.

**Увеличение давления.** При малой площади поверхности можно небольшой силой создать очень большое давление. Например, вдавливая кнопку в доску, мы действуем на неё с силой около 50 Н. Так как



Рис. 5.5

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

площадь острия кнопки составляет примерно  $1 \text{ мм}^2$  (т. е.  $0,000001 \text{ м}^2$ ), то давление, производимое ею, оказывается равным:

$$p = \frac{50 \text{ Н}}{0,000001 \text{ м}^2} = 50\,000\,000 \text{ Па} = 50\,000 \text{ кПа.}$$

Это давление в тысячу раз больше давления, производимого гусеничным трактором на почву (табл. 4)!

Таблица 4

| Давление, кПа        |     |
|----------------------|-----|
| «Луноход-2»          | 5   |
| Мальчик массой 45 кг | 15  |
| Гусеничный трактор   | 50  |
| Легковой автомобиль  | 150 |

Лезвия режущих и острия колющих инструментов (ножей, резцов, ножниц, пил, игл и др.) остро оттачивают. Их острые края имеют маленькую площадь соприкосновения с обрабатываемой поверхностью, благодаря чему даже при небольшой силе воздействия создаётся весьма значительное давление на предмет. Поэтому работать остро заточенным инструментом легче, чем тупым.

Режущие и колющие приспособления встречаются и в живой природе. Это клыки, когти животных, клювы птиц, шипы растений и т. п.



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



Зная свою массу и площадь опоры ботинка, найдите давление, которое вы производите, стоя на земле. Площадь опоры ботинка определите следующим образом. Поставьте ногу на лист бумаги в клетку и обведите контур той части подошвы, на которую опира-

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

ется нога (рис. 5.6). Сосчитайте число полных квадратиков, попавших внутрь контура, и прибавьте к нему половину числа неполных квадратиков, через которые прошла линия контура. Полученное число умножьте на площадь одного квадратика (площадь квадратика на листе, взятом из школьной тетради, равна  $0,25 \text{ см}^2$ ) и найдите площадь подошвы.

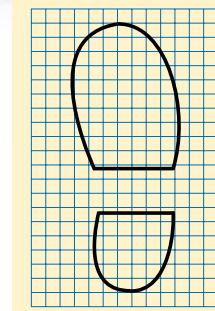


Рис. 5.6



1. Приведите примеры использования больших площадей опоры для уменьшения давления. 2. Почему режущие и колющие инструменты оказывают на тела очень большое давление? 3. На рисунке 5.7 изображены плоскогубцы и клещи. При помощи какого из этих инструментов можно произвести большее давление на зажатый предмет, прикладывая одинаковую силу? Почему?

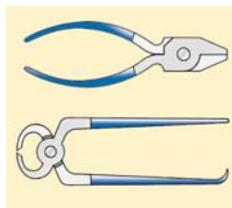


Рис. 5.7

Увеличение давления, уменьшение давления.

Давление в природе и технике

Найти



Современные вездеходы.



- Роль давления для человека и животных
- Увеличение давления при помощи зубов, клыков, когтей, клювов, жал в животном мире
- Уменьшение давления при помощи больших ступней у животных



- Увеличение давления при работе с иглой, ножницами, ножом, топором и др.

## § 39. ДАВЛЕНИЕ ГАЗА

### Вспомните

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

**Давление газа.** Мы знаем, что газы, в отличие от твёрдых тел и жидкостей, заполняют весь сосуд, в котором они находятся (например, стальной баллон для хранения газов, камеру автомобильной шины и т. п.). При этом газ оказывает давление на стенки, дно и крышку баллона или камеры, в которых он находится. Чем обусловлено это давление?

Молекулы газа беспорядочно движутся. При своём движении они сталкиваются друг с другом, а также со стенками сосуда, в котором находится газ (рис. 5.8). Газ состоит из огромного числа молекул, поэтому и число их ударов по определённому участку поверхности за определённое время очень велико. Например, в комнате, в которой вы сейчас находитесь, на каждый квадратный сантиметр за 1 с молекулами воздуха наносится столько ударов, что их количество выражается двадцатитрёхзначным числом. Хотя сила удара отдельной молекулы мала, но действие всех молекул о стенки сосуда приводит к значительному давлению.

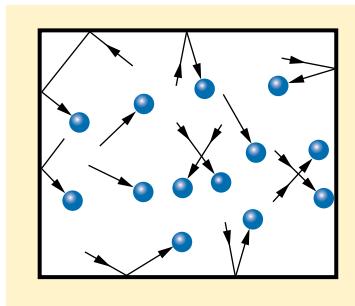


Рис. 5.8

### Важно

В газах давление создаётся ударами беспорядочно движущихся молекул.

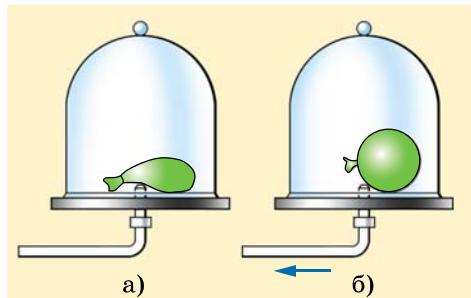


Рис. 5.9

Рассмотрим следующий опыт. Под колокол воздушного насоса помещают завязанный резиновый шарик. Он содержит небольшое количество воздуха и имеет неправильную форму (рис. 5.9, а). Затем насосом откачивают воздух из-под колокола. Оболочка шарика, вокруг которой воздух становится всё более раз-

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

реженным, постепенно раздувается и принимает сферическую форму (рис. 5.9, б).

Как можно это объяснить?

Мы знаем, что молекулы воздуха движутся и потому непрерывно ударяют о стенки шарика внутри и снаружи. При откачивании воздуха число молекул под колоколом вокруг оболочки шарика уменьшается. Но внутри завязанного шарика их число не изменяется. Поэтому число ударов молекул о внешнюю поверхность оболочки становится меньше числа ударов о внутреннюю поверхность. Из-за этого шарик раздувается и принимает такие размеры, при которых сила упругости его резиновой оболочки и сила давления на оболочку со стороны оставшегося под колоколом воздуха уравновешиваются силой давления газа, находящегося внутри его.

### Важно

Сферическая форма, которую принимает раздутая оболочка шарика, показывает, что *газ оказывает по всем направлениям одинаковое давление*.

**Как давление газа зависит от объёма.** Выясним, как зависит давление газа от его объёма. Температуру газа будем считать постоянной.

Если объём газа уменьшить, но так, чтобы масса его осталась неизменной, то в каждом кубическом сантиметре газа молекул станет больше. Это означает, что плотность газа увеличится. Тогда число ударов молекул о стенки сосуда возрастёт, и давление газа станет больше. Это можно подтвердить опытом.

На рисунке 5.10, а изображён стеклянный цилиндр, заполненный воздухом. Один конец цилиндра закрыт тонкой резиновой плёнкой. В цилиндр вставлен поршень.

Частицы воздуха в цилиндре под поршнем условно изображены точками. Увидеть на одном рисунке и цилиндр с поршнем, и частицы воздуха в нём невозможно, потому что даже суммарный объём всех молекул несравненно меньше объёма, занимаемого воздухом. При вдвигании поршня

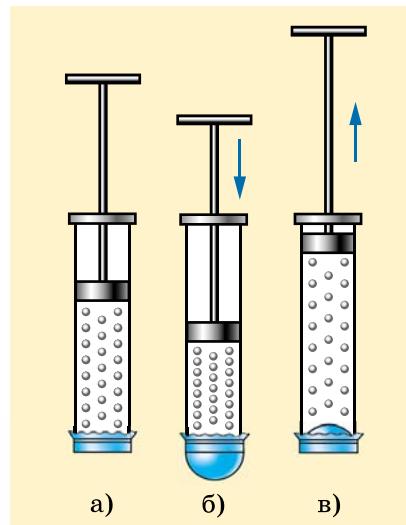


Рис. 5.10

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

объём воздуха в цилиндре уменьшается. При этом резиновая плёнка выгибаются наружу, указывая на то, что давление воздуха в цилиндре увеличилось (рис. 5.10, б).

Наоборот, при увеличении объёма этой же массы газа число молекул в каждом кубическом сантиметре, а значит, и число их ударов о стенки сосуда станет меньше. При этом давление газа тоже уменьшится.

На опыте это проявляется следующим образом. При вытягивании поршня из цилиндра резиновая плёнка прогибается внутрь сосуда, указывая, что давление воздуха внутри цилиндра стало меньше, чем снаружи (рис. 5.10, в).

### Запомните

Если масса и температура газа остаются неизменными, то при уменьшении объёма газа его давление увеличивается, а при увеличении объёма давление уменьшается.

**Как давление газа зависит от температуры.** Нагреем колбу, содержащую небольшое количество воды, с плотно вставленной в её горлышко резиновой пробкой (рис. 5.11). При нагревании вода закипает и превращается в водяной пар. При дальнейшем нагревании давление пара, т. е. давление газа, в колбе будет постепенно возрастать до тех пор, пока пробка не вылетит из колбы.

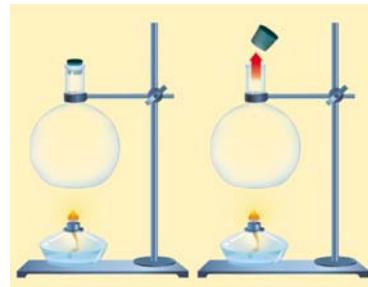


Рис. 5.11

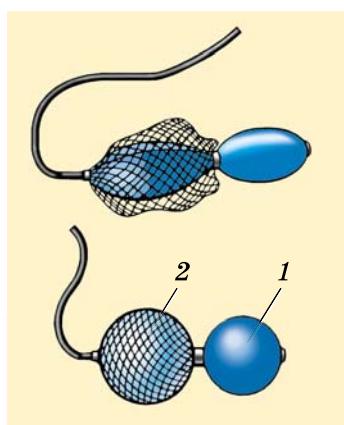


Рис. 5.12

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

**Устройство и принцип работы резиновой груши.** Изменение давления газа при изменении его объёма учитывают, например, в таком устройстве, как *резиновая груша* (рис. 5.12). Этот прибор состоит из двух резиновых шаров с клапанами и резиновой трубки, кото-

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

ную обычно присоединяют к пульверизатору (устройству, предназначенному для распыления жидкостей). Когда шар 1 сдавливают рукой, один (впускной) клапан закрывается, и воздух из шара 1 накачивается в шар 2. При освобождении шара 1 от надавливания он благодаря упругости своих стенок принимает первоначальную форму. При этом давление внутри его уменьшается, и очередная порция наружного воздуха, открывая выпускной клапан, вновь входит внутрь шара 1. Воздух в шаре 2 в это время закрывает другой клапан и по трубке направляется в пульверизатор.



Надуйте воздушный шарик. О каких свойствах газа и оболочки шарика свидетельствует его форма? Почему при определённом направлении струи воздуха мы заставляем шарик раздуваться сразу по всем направлениям? Почему не все воздушные шарики принимают сферическую форму?



1. Из-за чего возникает давление газа?
2. С помощью какого опыта можно показать, что газ производит давление на стенки сосуда, в котором он находится?
3. Как изменяется давление газа при его сжатии?
4. Почему не все воздушные шарики принимают сферическую форму?

Давление газа. Как изменить давление газа.  
Резиновая груша

Найти



Футбольный мяч падает с некоторой высоты. Отличается ли давление воздуха внутри мяча при падении от его давления в случае, когда мяч поконится?

## § 40. ПРИМЕНЕНИЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА

### Вспомните

- Чем вызвано давление газа?
- Как изменяется давление газа при сжатии?

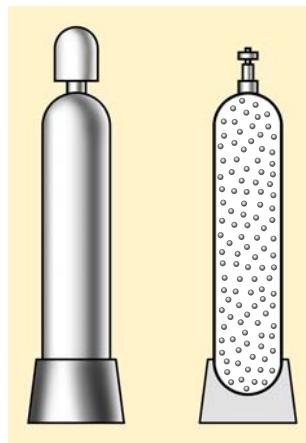


Рис. 5.13

Сжатый воздух может занимать значительно меньше места, чем при обычных условиях. Поэтому при хранении и перевозке воздух сжимают.

**Баллоны сжатого воздуха.** При сжатии давление воздуха повышается, и поэтому приходится использовать специальные, достаточно прочные стальные баллоны (рис. 5.13). В таких баллонах, например, содержат сжатый воздух в подводных лодках, а также кислород, используемый при сварке металлов.

**Пневматические устройства.** На применении сжатого воздуха основано действие различных *пневматических устройств* (от латинского слова «пневматикос» — воздушный). К ним относятся, например, отбойный молоток и пневматический тормоз.

**Насос и ниппель.** Рассмотрим сначала простейший *насос* (рис. 5.14). Его мы используем для накачивания мячей, велосипедных или автомобильных камеры. Работает насос следующим образом. При подъёме поршня



Рис. 5.14

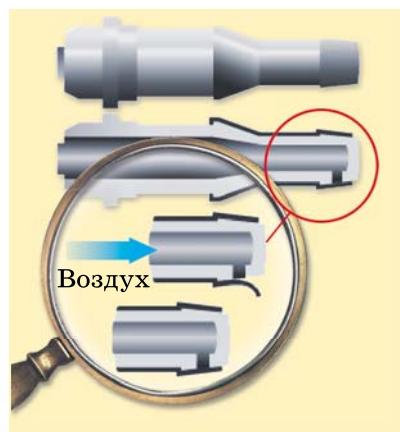


Рис. 5.15

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

вверх через отверстие в корпусе насоса входит воздух. При опускании поршня воздух под ним сжимается и через *ниппель* (рис. 5.15) 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.

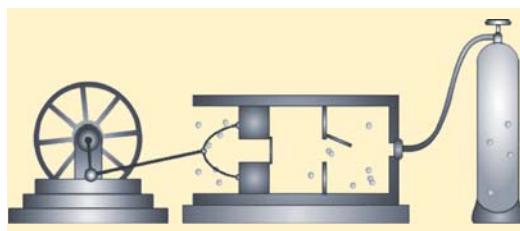


Рис. 5.16

**воздушный насос с клапанами** (рис. 5.16). Воздух откачивается из сосуда. При движении поршня вверх в камере между клапанами понижается давление. Из-за разности давлений в камере и сосуде, из которого выкачивают воздух, открывается клапан 1. При опускании поршня он закрывается и открывается клапан 2, воздух выходит из насоса.

**Нагнетательный насос-компрессор.** Ещё один вид насоса — *нагнетательный насос-компрессор* (рис. 5.17). 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.

**Отбойный молоток.** Устройство *отбойного молотка* показано на рисунке 5.18. По шлангу 1 пода-

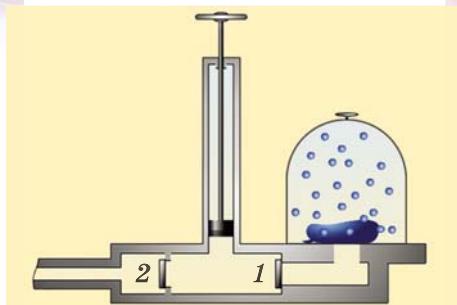


Рис. 5.16

**Поршневой воздушный насос с клапанами.** Устройства, которые используют для разрежения газа, также называют насосами. В качестве примера рассмотрим *поршневой*

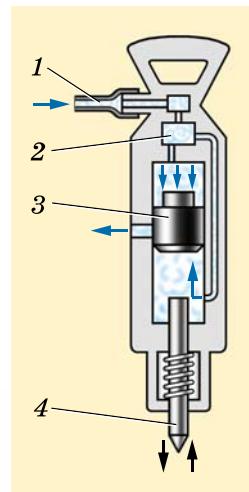


Рис. 5.18

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

ётся сжатый воздух. Устройство 2, называемое золотником, направляет его поочерёдно то в верхнюю, то в нижнюю часть цилиндра. Под действием этого воздуха боек 3 начинает быстро перемещаться то в одну, то в другую сторону, периодически (с частотой 1000—1500 ударов в минуту) воздействуя на пику 4. Удары последней используют для разрыхления мерзлых грунтов, откалывания от массива кусков горных пород, угля и т. п.

**Пневматический тормоз.** На рисунке 5.19 показано устройство **пневматического тормоза** железнодорожного вагона. Магистраль 1, тормозной цилиндр 4 и резервуар 3 заполняют сжатым воздухом. 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 2 выйти не может). В результате этого поршень тормозного цилиндра перемещается вправо и прижимает тормозную колодку 5 к ободу колеса 6, которое при этом затормаживается.

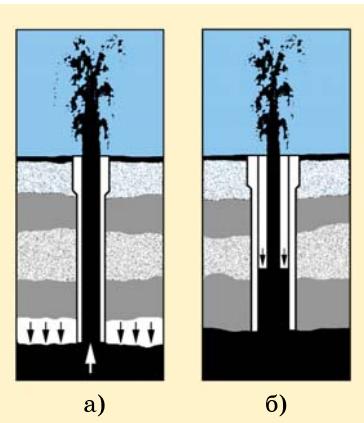


Рис. 5.20

**Способы добычи нефти.** Давление сжатого воздуха используется и при *добыче нефти*. На рисунке 5.20 показаны два способа её добычи: *а* — нефть фонтанирует под давлением подземных газов и вод; *б* — нефть идёт из скважины, накачиваемого в нефтеносный пласт.



1. Почему сжатые газы содержат в специальных стальных баллонах?
2. Как действует отбойный молоток?
3. Опишите принцип действия пневматического тормоза.
4. Расскажите о способах добычи нефти из скважины.

Сжатый воздух, баллон сжатого воздуха.

Пневматические устройства: насос, ниппель, отбойный молоток, пневматический тормоз. Способы добычи нефти

Найти

## § 41. Закон Паскаля

### Вспомните

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

Положив стопку книг на поверхность стола, стоящего в углу комнаты, вы увеличите лишь его давление на пол; стены, с которыми соприкасается стол, этого «не заметят». Если же вы с помощью поршня окажете давление на жидкость или газ, то результат будет иным.

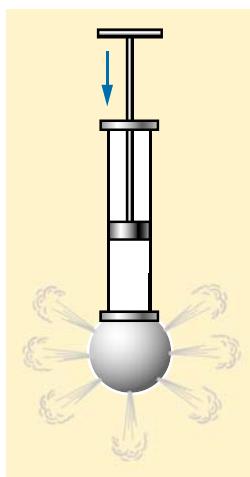


Рис. 5.22

**Закон Паскаля.** Проделаем опыт. Присоединим к трубке с поршнем полый шар с множеством маленьких отверстий. Наполнив шар водой, нажмём на поршень, чтобы увеличить в трубке давление. Вода начнёт выливаться, но не только через то отверстие, которое находится на линии действия прилагаемой нами силы, но и через все остальные тоже (рис. 5.21). Причём напор воды, обусловленный внешним давлением, во всех появившихся струйках воды будет одним и тем же.

Аналогичный результат мы получим и в том случае, если вместо воды будем использовать воздух с частицами продуктов сгорания — дым (рис. 5.22).

### Запомните

Опыты свидетельствуют о том, что жидкости и газы передают оказываемое на них давление по всем направлениям одинаково. Этот закон был открыт в 1653 г. французским учёным Б. Паскалем и потому носит его имя — **закон Паскаля**.

Передача давления жидкостями и газами обусловлена достаточно высокой подвижностью частиц, из которых они состоят. Рисунок 5.23 иллюстрирует сказанное. Точками на нём изображены молекулы газа, находящегося в сосуде под поршнем.

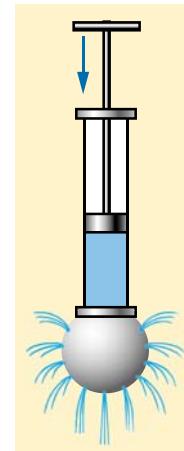


Рис. 5.21

Блез Паскаль  
(1623—1662)

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

нем. На рисунке 5.23, а эти молекулы равномерно заполняют весь предоставленный объём. При опускании поршня газ, находящийся непосредственно под ним, сжимается, и частицы газа в этом месте начинают располагаться более плотно, чем внизу (рис. 5.23, б).

Однако через некоторое время эти частицы, беспорядочно двигаясь, распределются между другими, и их расположение вновь станет равномерным, но более плотным, чем до опускания поршня (рис. 5.23, в). При этом в равной степени возрастёт число ударов молекул не только о дно сосуда, но и о его боковые стенки. Это и означает, что давление поршня передаётся газом по всем направлениям одинаково и в каждой точке оно возрастает на одну и ту же величину.

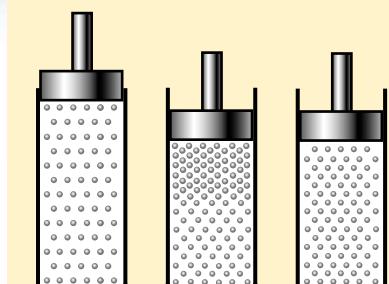


Рис. 5.23



В быту мы часто сталкиваемся с примерами, подтверждающими действие закона Паскаля. Например, вода, поступающая в лейку душа или в наконечник обычной садовой лейки, выливается через все отверстия с одинаковым напором. Именно из-за того, что закон Паскаля справедлив для газов, мы можем при помощи насоса надуть круги и матрасы для плавания самой разнообразной формы.



1. Надуйте немного воздуха в воздушный шарик и завяжите его. Сожмите шарик в каком-либо месте. Что произойдёт с остальной частью шарика? Почему?
2. Проколите целлофановый пакет иглой, после чего наполните пакет водой. Продемонстрируйте явления, подчиняющиеся закону Паскаля.



1. Сформулируйте закон Паскаля. 2. Опишите опыты, которые объясняются на основе этого закона. 3. При изготовлении бутылок через трубку вдувают воздух, и расплавленное стекло принимает форму бутылки (см. рис. 2.16). Какое свойство газов здесь используется? 4. В тире из винтовки стреляют в банку. Что будет с банкой, если она: а) пустая; б) наполнена водой? Почему?

Закон Паскаля. Давление газа. Давление жидкости

Найти

## § 42. Гидростатическое давление

### Вспомните

- Что такое давление?
- 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?

Жидкости и газы передают по всем направлениям не только оказываемое на них внешнее давление, но и то давление, которое создано внутри них благодаря весу их собственных частей.

**Давление жидкости.** Верхние слои жидкости давят на средние, те — на нижние, а последние — на дно.

### Запомните

Давление, оказываемое покоящейся жидкостью, называется **гидростатическим**.

**От чего зависит давление жидкости.** В жидкости каждый слой давит на все нижележащие слои, и давление на нижний слой обусловливается весом всех верхних слоёв.

При помощи опыта исследуем, как давление в жидкости меняется с глубиной. Возьмём стеклянную трубку с боковым отверстием, у которой и дно, и боковое отверстие закрыты резиновой плёнкой. Нальём в эту трубку воду. Под действием веса жидкости плёнка прогибается, и чем выше столб воды, тем больше прогибается плёнка. После того как плёнка прогнулась, уровень воды в трубке приходит в равновесие, так как, кроме силы тяжести, на воду действует сила упругости растянутой резиновой плёнки. Плёнка, за-

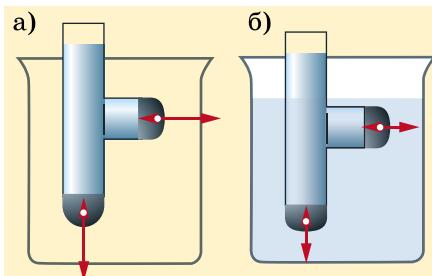


Рис. 5.24

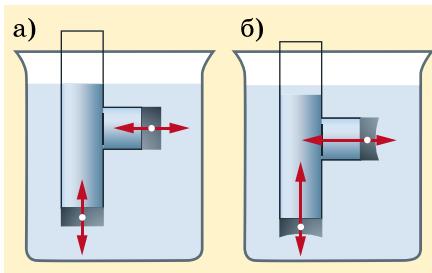


Рис. 5.25

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

крышающая дно трубки, прогибается сильнее, чем плёнка, закрывающая боковое отверстие (рис. 5.24, а).

Опустим трубку с водой в широкий сосуд, также наполненный водой (рис. 5.24, б). По мере опускания трубки резиновая плёнка постепенно выпрямляется. Полное выпрямление плёнки показывает, что силы, действующие на неё сверху и снизу, равны. При этом уровни воды в трубке и сосуде совпадают (рис. 5.25, а). Это означает, что силы, действующие на плёнку, одинаковы с обеих сторон. Если продолжить погружение трубки, плёнка начнёт выгибаться внутрь, что свидетельствует о том, что сила, действующая на неё снаружи, превосходит силу, действующую изнутри (рис. 5.25, б).

### Важно

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

**Формула гидростатического давления.** Получим формулу для расчёта гидростатического давления жидкости на произвольной глубине  $h$  (в окрестности точки  $A$  на рисунке 5.26). Сила, действующая в этом месте со стороны выплывающего узкого вертикального столба жидкости, может быть выражена двумя способами:

во-первых, как произведение давления в основании этого столба на площадь его сечения:

$$F = pS;$$

во-вторых, как вес того же столба жидкости, т. е. произведение массы жидкости (которая может быть найдена по формуле  $m = \rho V$ , где объём  $V = Sh$ ) на ускорение свободного падения  $g$ :

$$F = mg = \rho Shg.$$

Приравняв оба выражения, получим

$$pS = \rho Shg.$$

Разделив обе части этого равенства на площадь  $S$ , найдём давление жидкости на глубине  $h$ :

$$p = \rho gh. \quad (42.1)$$

### Запомните

Гидростатическое давление на любой глубине внутри жидкости не зависит от формы сосуда, в котором находится жидкость, и равно произведению плотности жидкости, ускорения свободного падения и глубины, на которой рассматривается давление:  $p = \rho gh$ . Это выражение называют *формулой гидростатического давления*.

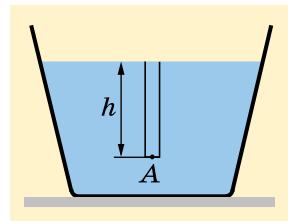


Рис. 5.26

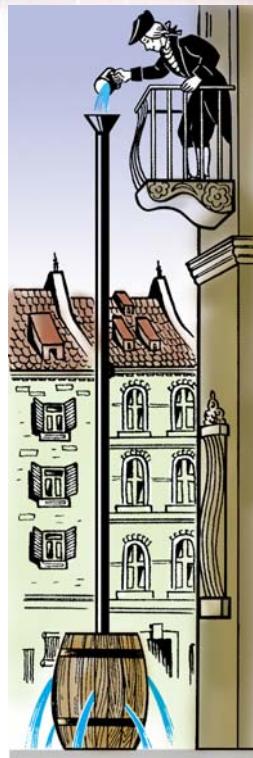


Рис. 5.27

**Опыт Паскаля.** Одно и то же количество воды, находясь в разных сосудах, может оказывать разное давление на дно. Поскольку это давление зависит от высоты столба жидкости, то в узких сосудах оно будет больше, чем в широких. Благодаря этому даже небольшим количеством воды можно создать очень большое давление. В 1648 г. это продемонстрировал Б. Паскаль. Он вставил в закрытую бочку, наполненную водой, узкую трубку и, поднявшись на балкон второго этажа дома, вылил в эту трубку кружку воды. Из-за малого объёма трубки вода в ней поднялась до большой высоты, и давление в бочке увеличилось настолько, что крепления бочки не выдержали и она треснула (рис. 5.27).

Полученные нами результаты справедливы не только для жидкостей, но и для газов. Их слои также давят друг на друга, и потому в них тоже существует давление, обусловленное весом слоёв газа.

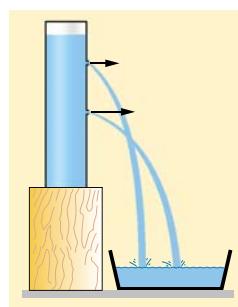


Рис. 5.28

Возьмите высокий сосуд и сделайте в его стенке два небольших отверстия на разной высоте. Закройте отверстия пластилином и наполните сосуд водой. Откройте отверстия и проследите за струями вытекающей воды (рис. 5.28). Почему вода вытекает из отверстий? Из чего следует, что давление воды увеличивается с глубиной?



1. Какое давление называют гидростатическим? 2. От каких величин зависит это давление? 3. Выведите формулу гидростатического давления на произвольной глубине. 4. Каким образом с помощью небольшого количества воды можно создать большое давление? Расскажите об опыте Паскаля.

Давление жидкости. Гидростатическое давление.  
Опыт Паскаля

Найти



Как изменится давление жидкости на дно сосуда, если он начнёт падать, сохраняя вертикальное положение?

## § 43. ДАВЛЕНИЕ НА ДНЕ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ МОРСКИХ ГЛУБИН

### Вспомните

- Как формулируется закон Паскаля?
- Что такое гидростатическое давление?
- От чего зависит гидростатическое давление?

Из формулы гидростатического давления следует, что во всех слоях жидкости, находящихся на одной и той же глубине, давление жидкости одно и то же. С увеличением глубины оно возрастает. Особенно больших значений оно достигает на дне морей и океанов. Например, на глубине 10 км давление воды составляет около 100 млн Па!

**Глубоководные животные.** Несмотря на огромное давление, существующее на таких глубинах, и здесь обитают некоторые животные: различные иглокожие, ракообразные, моллюски, черви, а также глубоководные рыбы. Организм этих животных приспособлен к существованию в условиях большого давления, и точно такое же давление имеется внутри их. Сюда не доходит солнечный свет (он угасает уже на глубине 180 м), и потому здесь царствует мрак. Обитатели глубин либо слепые, либо, наоборот, имеют очень развитые глаза. Некоторые из глубоководных животных светятся собственным светом.

**Человек под водой.** Человек начал осваивать подводный мир ещё в глубокой древности. Опытные, хорошо тренированные ныряльщики (ловцы жемчуга, собиратели губок), задерживая дыхание на 1—2 мин, погружались без всяких приспособлений на глубину 20—30, а иногда и более метров.

Опускаться на очень большие глубины человек без специального снаряжения не может. Этому мешает как отсутствие воздуха, так и огромное гидростатическое давление, прогибающее рёбра грудной клетки настолько, что они могут сломаться.



Рис. 5.29

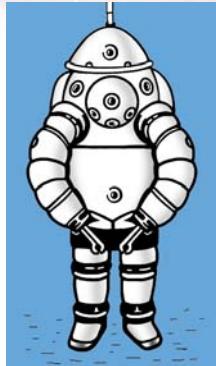


Рис. 5.30

На больших глубинах разность между давлением воды, сжимающим грудную клетку, и давлением воздуха внутри её возрастает настолько, что у человека уже не хватает сил увеличивать объём грудной клетки при вдохе и наполнять свежим воздухом лёгкие.

На глубине, превышающей 1,5 м, можно дышать только таким воздухом, который сжат до давления, равного давлению воды на данной глубине.

**Акваланг.** В 1943 г. французами Ж. Кусто и Э. Ганьяном был изобретён **акваланг** — специальный аппарат со сжатым воздухом, предназначенный для дыхания человека под водой (рис. 5.29). Благодаря этому изобретению плавание под водой стало увлекательным и распространённым видом спорта.

Акваланг позволяет находиться под водой от нескольких минут (на глубине около 40 м) до часа и более (на небольших глубинах). Спуски с аквалангом на глубины более 40 м не рекомендуются, так как вдыхание воздуха, сжатого до большого давления, может привести к азотному наркозу. У человека нарушается координация движений, мутится сознание.

**Водолазный скафандр.** При подводных работах на разных глубинах используют специальные **водолазные скафандры**. Если ска-

Для увеличения времени пребывания под водой люди вначале использовали дыхательные трубки, кожаные мешки с запасом воздуха, а также «водолазный колокол», в верхней части которого при погружении в воду образовывалась «воздушная подушка», из которой человек и получал воздух.

Следует иметь в виду, однако, что дышать через трубку, выступающую над поверхностью воды, можно лишь тогда, когда глубина погружения не превышает 1,5 м.



Рис. 5.31

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

фандр мягкий, то глубина погружения обычно не превосходит нескольких десятков метров. На больших глубинах человек может работать только в жёстком («панцирном») скафандре (рис. 5.30). В последнем случае глубина погружения может доходить до 300 м.

**Батисфера и батискаф.** Для исследования морей и океанов на больших глубинах используют батисферы и батискафы (рис. 5.31). Батисферу опускают с надводного судна с помощью троса. Впервые она была использована итальянцем Бальзамелло в 1892 г. Глубина погружения тогда составляла 165 м; впоследствии она превысила 1 км.

Батискаф не связан тросом с кораблём и представляет собой автономный (самоходный) аппарат (рис. 5.32). Первый батискаф был построен и испытан швейцарским учёным О. Пиккаром в 1948 г. В январе 1960 г. сын учёного Ж. Пиккар вместе с Д. Уолшем достигли на батискафе дна Марианского жёлоба в Тихом океане. Его максимальная глубина (измеренная в 1957 г. советским исследовательским судном «Витязь») составляет 11 022 м.



1. Каким образом человек может дышать, находясь под водой?
2. Что препятствует погружению людей без специальных приспособлений на большие глубины? 3. Что такое акваланг? Почему в нём используется не обычный, а сжатый воздух? 4. Чем отличается батискаф от батисферы?

Глубоководные рыбы. Водолазный скафандр. Акваланг.  
Батисфера. Батискаф

Найти



Давление на больших глубинах в Мировом океане достигает колоссальных значений. Почему же глубоководные обитатели не ощущают при этом дискомфорта?



1. История акваланга.
2. Покорение глубин.
3. Давление в глубинах океана. Приспособляемость живых организмов.
4. Как опуститься в Марианскую впадину?

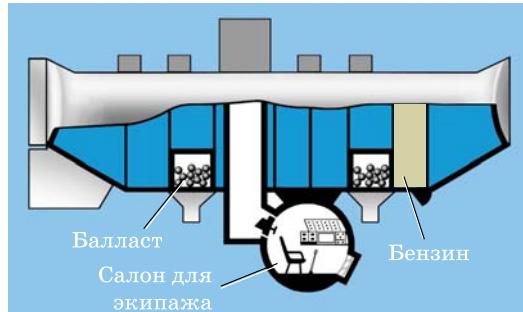


Рис. 5.32

## § 44. Сообщающиеся сосуды

### Вспомните

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

На рисунке 5.33 изображено несколько сосудов. Все они имеют разную форму, но одна особенность делает их похожими друг на друга. Какая именно?

### Сообщающиеся сосуды.

Приглядевшись, можно заметить, что отдельные части всех этих сосудов имеют соединение, заполненное жидкостью.

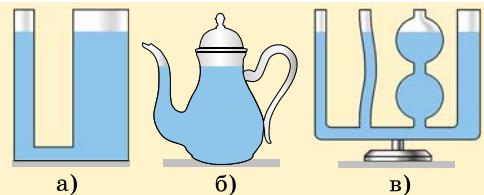


Рис. 5.33

### Запомните

Сосуды, имеющие общую (соединяющую их) часть, заполненную покоящейся жидкостью, называются **сообщающимися**.

**Закон сообщающихся сосудов.** Проделаем опыт. Соединим два стеклянных сосуда резиновой трубкой и, зажав трубку в середине, нальём в один из сосудов воду (рис. 5.34, а). Теперь откроем зажим

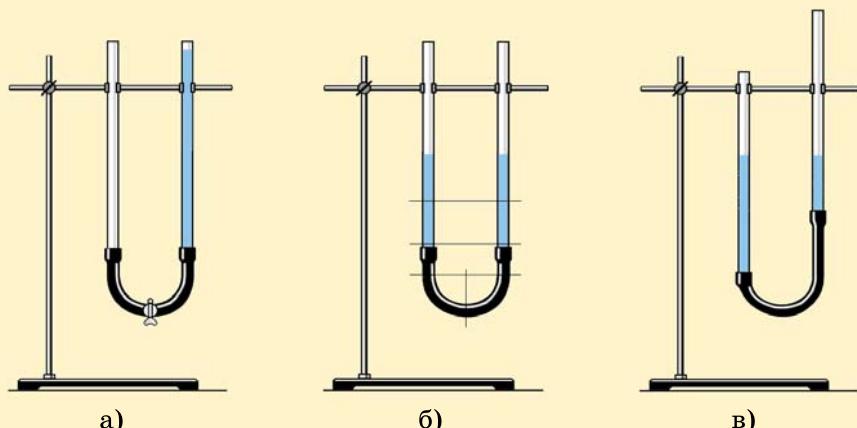


Рис. 5.34

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

и проследим за перетеканием воды из первого сосуда во второй, сообщающийся с первым. Мы увидим, что вода будет перетекать до тех пор, пока поверхности воды в обоих сосудах не установятся на одном уровне (рис. 5.34, *б*). Если один из сосудов оставить закреплённым в штативе, а другой поднимать, опускать или наклонять в сторону, то всё равно, как только движение воды прекратится, её уровни в обоих сосудах окажутся одинаковыми (рис. 5.34, *в*).

### Запомните

**Закон сообщающихся сосудов** гласит: в сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне<sup>1</sup>.

Для доказательства этого закона рассмотрим частицы жидкости, находящиеся в том месте, где соединяются сосуды (внизу на рисунке 5.33, *а*). Так как эти частицы (вместе со всей остальной жидкостью) покоятся, то силы, действующие на них слева и справа, должны уравновешивать друг друга. Но эти силы пропорциональны давлениям, а давления — высотам столбов жидкости, со стороны которых действуют эти силы. Поэтому из равенства рассматриваемых сил следует и равенство высот столбов жидкости в сообщающихся сосудах.



Все моря и океаны мира также являются сообщающимися сосудами. Все они соединены между собой проливами.

Уровень моря во всём мире одинаков. Исключениями являются внутренние моря, которые не сообщаются с океаном. В них уровень может быть другим. Такими морями являются, например, Средиземное и Красное.

**Сообщающиеся сосуды с разнородными жидкостями.** До сих пор мы рассматривали случай, когда оба сообщающихся сосуда содержали одну и ту же жидкость. Если же в правый сосуд налить одну жидкость (например, воду плотностью  $\rho_1$ ), а в левый — другую жидкость (например, керосин плотностью  $\rho_2$ ), то уровни этих жидкостей окажутся разными

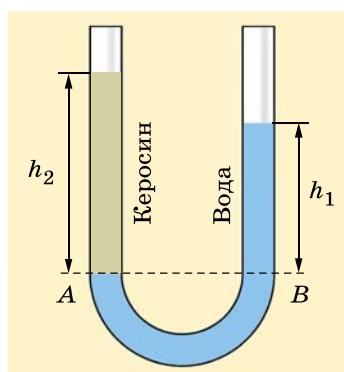


Рис. 5.35

<sup>1</sup> Сообщающиеся сосуды не должны иметь слишком малые диаметры, иначе будут наблюдаться капиллярные эффекты (см. § 9).

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

(рис. 5.35). Однако поскольку жидкости и в данном случае покоятся, то по-прежнему можно утверждать, что давления, создаваемые и правым, и левым столбами жидкостей (например, на уровне  $AB$  на рисунке), равны:

$$p_1 = p_2.$$

Каждое из этих давлений может быть выражено с помощью формулы гидростатического давления:

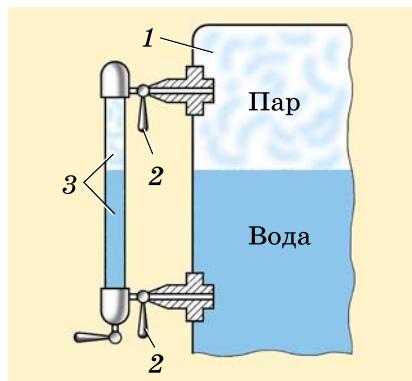


Рис. 5.36

### Важно

Это означает, что в сообщающихся сосудах, содержащих разные жидкости, высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью. При этом высоты столбов жидкостей отсчитываются от поверхности соприкосновения жидкостей друг с другом.

$$p_1 = \rho_1 gh_1, \quad p_2 = \rho_2 gh_2.$$

Приравнивая эти выражения, получаем

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2,$$

откуда

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (44.1)$$

Из этого равенства следует, что если  $\rho_1 > \rho_2$ , то  $h_1 < h_2$ .

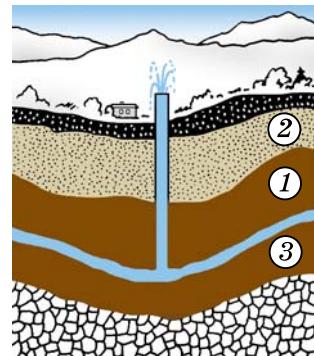


Рис. 5.37



1. Приведите примеры сообщающихся сосудов.
2. Сформулируйте закон сообщающихся сосудов.
3. Как располагаются поверхности разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах?
4. Докажите закон сообщающихся сосудов, используя формулу (44.1).
5. На рисунке 5.36 изображено водомерное стекло, применяемое в паровых котлах (1 — паровой котёл, 2 — краны, 3 — водомерное стекло). Объясните действие этого прибора.
6. На рисунке 5.37 изображён артезианский колодец. Слой земли 2 состоит из песка или другого материала, легко пропускающего воду. Слои 1 и 3, наоборот, водонепроницаемы. Объясните действие этого колодца. Почему вода

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов



Рис. 5.38

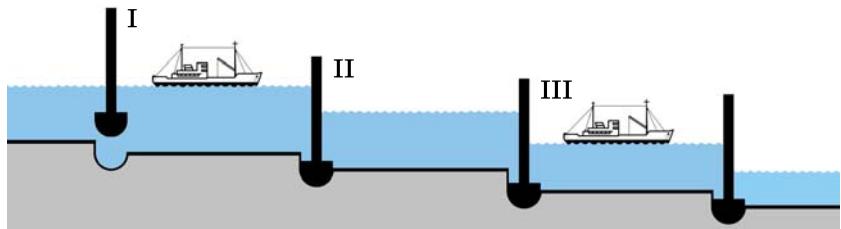


Рис. 5.39

бьёт из него фонтаном? 7. На рисунке 5.38 дана схема устройства шлюза, а на рисунке 5.39 — схема шлюзования судов. Рассмотрите рисунки и объясните принцип действия шлюзов.

Сообщающиеся сосуды. Закон сообщающихся сосудов.  
Артезианский колодец. Шлюзы

Найти



В цилиндрических сообщающихся сосудах находится вода. Сохранился ли одинаковый уровень воды в сосудах, если один из них начнут нагревать?



1. Сообщающиеся сосуды в природе.
2. Принцип сообщающихся сосудов в технике.

# § 45. АТМОСФЕРА

## И АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

### Вспомните

- Как происходит передача давления в газах?
- Как формулируется закон Паскаля?

Газовая оболочка, окружающая Землю, называется **атмосферой** (от греческих слов «атмос» — пар и «сфера» — шар). Смесь газов, образующих атмосферу Земли, называют *воздухом*. В состав воздуха входят азот (78%), кислород (21%) и некоторые другие газы.

**Атмосфера Земли.** Молекулы газов, образующих атмосферу нашей планеты, находятся в непрерывном и беспорядочном движении. Почему же они не улетают в космическое пространство? Дело в том, что у них недостаточно большая скорость. Ведь и мяч, брошенный человеком вверх, не улетает в космос. Чтобы выйти за пределы притяжения Земли, необходимо развить очень большую скорость — 11,2 км/с. Скорость большинства молекул в воздухе значительно меньше.

Исследование околоземного пространства с помощью искусственных спутников Земли показало, что атмосфера нашей планеты простирается на тысячу и более километров в высоту. Резкой границы она не имеет. Её верхние слои очень разрежены и постепенно переходят в пустое межпланетное пространство. С уменьшением высоты плотность воздуха возрастает. Около 80% всей массы воздушной оболочки Земли сосредоточено в пределах 15 км над Землёй.



Рис. 5.40

**Как определить массу воздуха.** Установлено, что при температуре 0 °С масса 1 м<sup>3</sup> воздуха (на уровне моря) составляет в среднем 1,29 кг.

Как на опыте доказать, что воздух обладает массой? Для этого следует взять прочный стеклянный шар с пробкой и резиновой трубкой, имеющей зажим (рис. 5.40). Выкачив из шара воздух и закрыв зажим, поместим шар на весы и уравновесим их с помощью гирь. Теперь откроем зажим на резиновой трубке. Воздух снова войдёт внутрь шара, и мы увидим, как равновесие весов нарушится. Шар с воздухом станет тяжелее. Это и означает, что воздух обладает массой.

**Атмосферное давление.** Из-за притяжения к Земле верхние слои воздуха давят на средние, те — на нижние. Наибольшее давление, обусловленное весом воздуха, испытывает поверхность Земли, а также все тела, находящиеся на ней. На них давит вся толща воздуха.

### Запомните

Давление, оказываемое атмосферой Земли на все находящиеся в ней предметы, называется **атмосферным давлением**.

**Почему мы не ощущаем атмосферное давление.** Для ответа на этот вопрос рассмотрим опыт. Возьмём стеклянную банку и затянем её горлышко тонкой резиновой плёнкой (рис. 5.41). На плёнку снаружи действует сила, обусловленная атмосферным давлением воздуха, однако плёнка совершенно не прогибается.

Дело в том, что давление воздуха внутри банки равно атмосферному, поэтому на внутреннюю поверхность плёнки действует такая же сила, что и на наружную. Силы уравновешены, и плёнка остаётся неизогнутой, как если бы на неё не действовали никакие силы.

Если откачать часть воздуха из банки, уменьшив этим его давление, то плёнка прогибается внутрь банки. Если, наоборот, накачать в банку воздух, то плёнка выгибаются наружу. Плёнка прогибается настолько, что возникшие в ней упругие силы вместе с силой давления воздуха в банке уравновешивают 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. Большинство тканей в нашем организме при одинаковом давлении изнутри и снаружи не деформируются, и атмосферное давление не ощущается.



Известны рыбы, которые живут на глубине нескольких километров, где давление воды достигает сотен атмосфер.

Все их ткани и полости содержат газы и жидкости, сжатые до такого же давления, что и окружающая вода, и поэтому они не подвергаются наружному давлению. Если глубоководную рыбку вытащить из глубины океана на поверхность, то она погибнет, поскольку её внутренние ткани и органы будут разорваны за счёт очень высокого внутреннего давления.

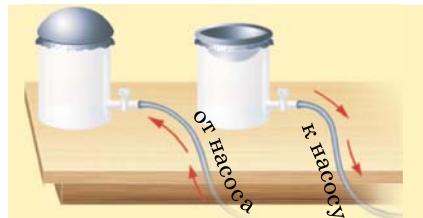


Рис. 5.41

**Влияние атмосферного давления на физические явления.** Существованием атмосферного давления могут быть объяснены многие явления. Рассмотрим два примера.

На рисунке 5.42 изображены широкий сосуд с водой и опущенная в него стеклянная трубка с поршнем. Поднимая поршень, мы увидим, как вода начинает следовать

за ним. Что заставляет подниматься воду? Если бы уровень воды при поднятии поршня не изменялся, то между ним и водой образовалось бы безвоздушное пространство, которое, естественно, не оказывало бы никакого давления на находящуюся под ним воду. Снизу же на эту воду (в трубке) действует сила давления окружающего воздуха. Это давление передаётся по закону Паскаля через воду в широком сосуде. Действуя снизу вверх, сила атмосферного давления и заставляет воду в трубке устремляться в пустое пространство под поршнем. Именно на этом основан принцип действия такого широко известного инструмента, как *шприц* (рис. 5.43).

На рисунке 5.44 показано, что будет происходить, если в широкий сосуд с водой опустить трубку, из которой был откачен воздух. После открытия крана вода фонтаном начинает бить вверх. Причина этого — разность давлений снаружи и внутри трубы. Преобладающая сила давления окружающего воздуха заставляет воду из широкого сосуда перемещаться туда, где давление намного меньше, т. е. внутрь пустой трубы.



- Что представляет собой атмосфера Земли? Из каких газов она состоит?
- Почему молекулы газов, образующих атмосферу Земли, не улетают в космическое пространство?
- Как изменяется плотность атмосферы с увеличением высоты?
- С помощью какого опыта мож-

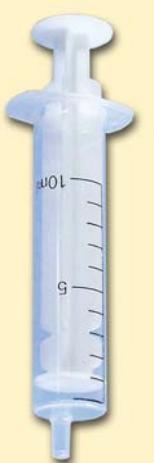


Рис. 5.43

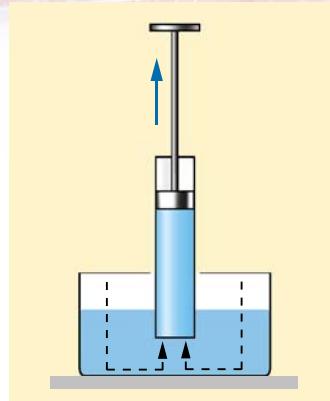


Рис. 5.42

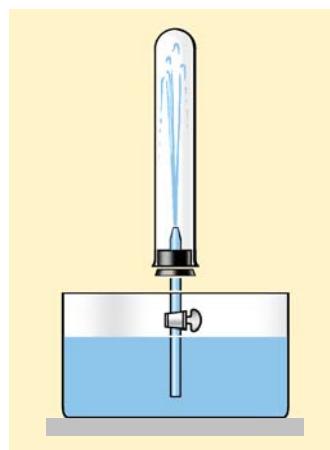


Рис. 5.44

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

но доказать, что воздух обладает массой? 5. Вследствие чего создаётся атмосферное давление? 6. Объясните принцип действия шприца. 7. На рисунке 5.45 изображена *пипетка*. Объясните, каким образом удаётся набирать в неё жидкость. 8. На рисунке 5.46 изображён *ливер* — инструмент, служащий для взятия проб различных жидкостей. Ливер опускают в жидкость, затем закрывают пальцем верхнее отверстие и вынимают из жидкости. Когда верхнее отверстие открывают, жидкость из ливера вытекает. Объясните действие этого прибора. 9. Предполагают, что Луна когда-то была окружена атмосферой, но постепенно потеряла её. Чем это можно объяснить? 10. Чтобы вдохнуть воздух, человек расширяет свою грудную клетку. Почему воздух при этом входит в лёгкие? Как происходит выдох?



Рис. 5.45

Атмосфера, состав атмосферы. Атмосферное давление.  
Масса воздуха. Пипетка, ливер

Найти

1. Атмосферное давление и здоровье человека.
2. От чего зависит атмосферное давление?
3. Загадки атмосферы.
4. Человек и атмосфера.
5. Влияние атмосферного давления на окружающую среду.



- Атмосфера
- Состав атмосферы
- Строение (слои) атмосферы



- Дыхание человека и животных
- Использование атмосферного давления живыми организмами (присоски на конечностях мух, пиявок, рыб-прилипал и др.)

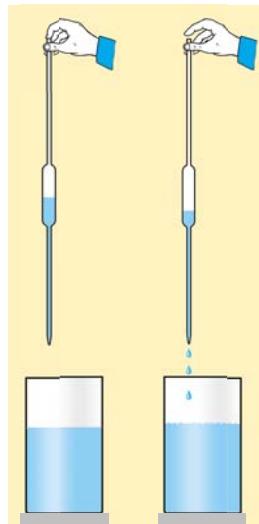


Рис. 5.46

## § 46. Измерение атмосферного давления. Опыт Торричелли

### Вспомните

- Что такое атмосфера?
- Что такое атмосферное давление?

Мы знаем, что воздушная оболочка Земли оказывает на все находящиеся в ней тела некоторое давление. Это давление называется атмосферным. Насколько оно велико?

**Опыт Торричелли.** Формула давления  $p = \rho gh$  для расчёта атмосферного давления не подходит, так как атмосферный воздух не обладает постоянной плотностью (она на различных высотах разная) и не имеет определённой высоты (у атмосферы нет резкой границы). Тем не менее узнать, чему равно атмосферное давление, можно.

Как измерить давление атмосферы, впервые догадался итальянский учёный Э. Торричелли. Предложенный им опыт был осуществлён в 1643 г. учеником Галилея В. Вивиани. В этом опыте использовалась запаянная с одного конца стеклянная трубка длиной около 1 м. Её наполнили ртутью и, закрыв пальцем (чтобы ртуть не вылилась раньше времени) и перевернув, опустили в широкую чашу со ртутью. После того как трубку открыли, часть ртути из неё вылилась, и в её верхней части образовалось безвоздушное пространство — «торричеллиева пустота» (рис. 5.47). При этом высота столба ртути в трубке оказалась равной примерно 760 мм (если отсчитывать её от уровня ртути в чаше).

Результаты этого опыта Торричелли объяснил следующим образом. «До сих пор, — писал он, — существовало мнение, будто сила, не позволяющая ртути, вопреки её природному свойству, падать вниз, находится внутри верхней части трубки, т. е. заключается либо в пустоте, либо в веществе предельно разреженном. Однако я утверждаю, что это сила — внешняя — и что сила берётся извне. На поверхность жидкости, находящейся в чаше, действуют своей тяжестью 50 миль воздуха. Что же удивительного, если ртуть... поднимается настолько, чтобы уравновесить тяжесть наружного воздуха».



Эванджелиста  
Торричелли  
(1608—1647)

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

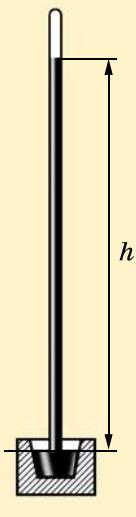
Итак, атмосферное давление равно давлению столба ртути в трубке:

$$p_{\text{атм}} = p_{\text{ртути}}.$$

Если бы эти давления не были равны, то ртуть не находилась бы в равновесии: при  $p_{\text{ртути}} > p_{\text{атм}}$  ртуть выливалась бы из трубки в чашу, а при  $p_{\text{ртути}} < p_{\text{атм}}$  ртуть поднималась бы по трубке вверх. Поэтому *давление атмосферы можно измерять высотой соответствующего ртутного столба (выраженной обычно в миллиметрах)*.

Если, например, в каком-либо месте атмосферное давление равно 760 мм рт. ст., то это означает, что воздух в данном месте производит такое же давление, которое производит вертикальный столб ртути высотой 760 мм. Большая высота ртутного столба соответствует большему атмосферному давлению, меньшая — меньшему.

Рис. 5.47



Ртутный барометр

**Ртутный барометр.** Если прикрепить к трубке с ртутью, использовавшейся в опыте Торричелли, вертикальную шкалу, то получится простейший прибор для измерения атмосферного давления — **ртутный барометр** (от греческого слова «барос» — тяжесть).

**Нормальное атмосферное давление.** Наблюдая за высотой ртутного столба в трубке, Торричелли неожиданно для себя заметил, что атмосферное давление не постоянно и в зависимости «от теплоты или холода» (как писал он сам) высота столба ртути оказывается разной.

### Запомните

В настоящее время давление атмосферы, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °C, принято называть **нормальным атмосферным давлением**.

Чтобы рассчитать это давление в паскалях, воспользуемся формулой гидростатического давления:

$$p = \rho gh.$$

Подставляя в эту формулу значения  $\rho = 13\ 595,1 \text{ кг}/\text{м}^3$  (плотность ртути при  $0^\circ\text{C}$ ),  $g = 9,80665 \text{ Н}/\text{кг}$  (ускорение свободного падения) и  $h = 760 \text{ мм} = 0,76 \text{ м}$  (высота столба ртути, соответствующая нормальному атмосферному давлению), получаем следующую величину:

$$p = 101\ 325 \text{ Па.}$$

Это и есть *нормальное атмосферное давление*.

Атмосферное давление, близкое к нормальному, наблюдается обычно в местностях, находящихся на уровне моря. С увеличением высоты над уровнем моря (например, в горах) давление уменьшается.

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

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

На практике также используют специальную единицу давления — *атмосферу* (1 атм =  $= 10^5 \text{ Па}$ ).

**Опыты Паскаля.** Опыты Торричелли заинтересовали многих учёных — его современников. Когда о них узнал Паскаль, он повторил их с разными жидкостями (маслом, вином и водой). На рисунке 5.48 изображён *водяной барометр*, созданный Паскалем в 1646 г. Столб воды, уравновешивающий давление атмосферы, оказался намного выше столба ртути.

В 1648 г. по поручению Паскаля Ф. Перье измерил высоту столба ртути в барометре у подножия и на вершине горы Пюи-де-Дом и полностью подтвердил предположение Паскаля о том, что атмосферное давление зависит от высоты: на вершине горы столб ртути оказался меньше на 84,4 мм. Для того чтобы не осталось никаких сомнений в том, что давление атмосферы понижается с увеличением высоты над Землёй, Паскаль проделал ещё несколько опытов, но уже в Париже: внизу

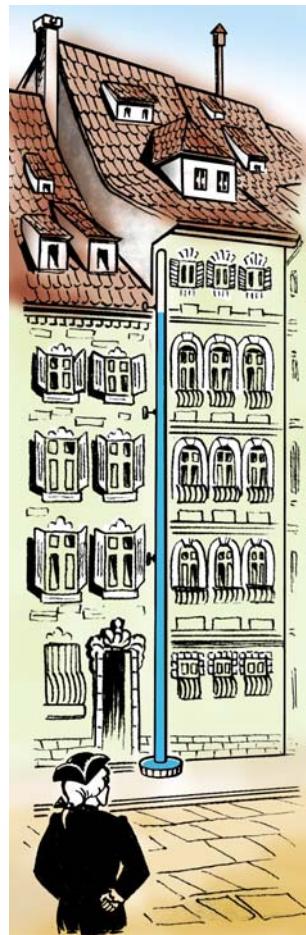


Рис. 5.48

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

и наверху собора Нотр-Дам, башни Сен-Жак, а также высокого дома с 90 ступеньками. Свои результаты он опубликовал в брошюре «Рассказ о великом эксперименте равновесия жидкостей».

**Опыт Герике.** Большую известность получили также опыты немецкого физика Отто фон Герике (1602—1686). К выводу о существовании атмосферного давления он пришёл независимо от Торричелли (об опытах которого он узнал с опозданием на девять лет). Откачивая как-то воздух из тонкостенного металлического шара, Герике вдруг увидел, как этот шар сплющился. Размышая над причиной аварии, он понял, что расплющивание шара произошло под действием окружающего воздуха.

Открыв атмосферное давление, Герике построил около фасада своего дома в г. Магдебурге водяной барометр, в котором на поверхности жидкости плавала фигурка в виде человечка, указывающего на деления, нанесённые на стекле.

В 1654 г. Герике, желая убедить всех в существовании атмосферного давления, провёл знаменитый опыт с магдебургскими полушариями. На демонстрации опыта присутствовали император Фердинанд III и члены Регенсбургского рейхстага. В их присутствии из полости между двумя сложенными вместе металлическими полушариями выкачивали воздух. При этом силы атмосферного давления так сильно прижали эти полушария друг к другу, что их не смогли разъединить несколько пар лошадей (рис. 5.49).

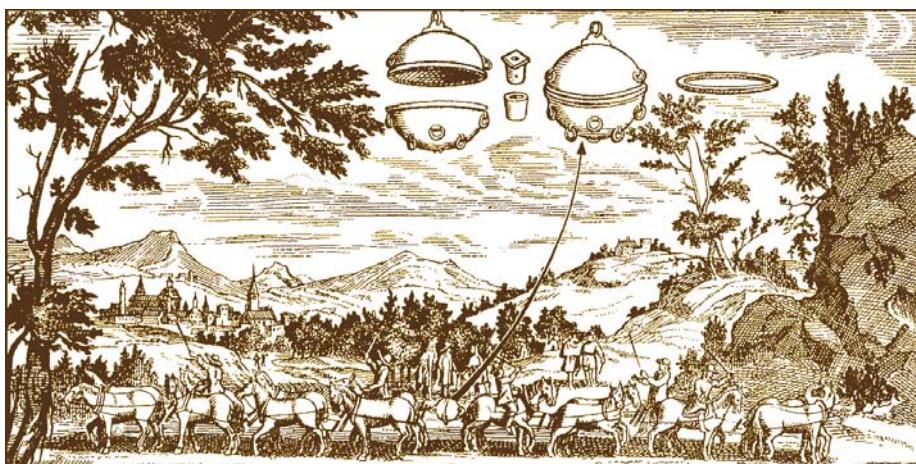


Рис. 5.49

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов



- Погрузите стакан в воду, переверните его под водой вверх дном и затем медленно вытаскивайте из воды. Почему, пока края стакана находятся под водой, вода остаётся в стакане (не выливается)?
- Наполните стакан водой, закройте листом бумаги и, поддерживая лист рукой, быстро переверните стакан вверх дном. Если теперь отнять руку от бумаги, то вода из стакана не выльется. Бумага останется как бы приклеенной к краям стакана. Почему?



- Почему давление атмосферы нельзя рассчитать так же, как рассчитывают давление жидкости на дно сосуда?
- Расскажите об опыте Торричелли.
- Что означает запись: «Атмосферное давление равно 780 мм рт. ст.»?
- Как называют прибор для измерения атмосферного давления?
- Какое давление называют нормальным атмосферным давлением? Чему оно равно?
- Как изменяется атмосферное давление при увеличении высоты над Землёй? Почему?

Измерение атмосферного давления.

Эванджелиста Торричелли. Ртутный барометр.

Водяной барометр. Нормальное атмосферное давление.

Магдебургские полушария. Отто фон Герике

Найти



- 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?

## § 47. БАРОМЕТР-АНЕРОИД

### Вспомните

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

До середины XIX в. для измерения атмосферного давления применяли лишь жидкостные (главным образом, ртутные) барометры, изобретённые Э. Торричелли. В 1844 г. Л. Види сконструировал новый, безжидкостный барометр, получивший название **барометр-анероид** (от греческого слова «анерос» — безжидкостный).

**Барометр-анероид.** Устройство барометра-анероида показано на рисунке 5.50. Его основной частью является круглая металлическая коробка 1 с волнистыми (гофрированными) основаниями. Путём откачивания воздуха внутри этой коробки создано сильное разрежение. При повышении атмосферного давления коробка сжимается, и её верхняя (прогибающаяся) поверхность начинает тянуть прикреплённую к ней пружину 2. При уменьшении давления пружина разгибается, и верхнее основание коробки приподнимается. К пружине с помощью передаточного механизма 3 прикреплена стрелка-указатель 4. Эта

стрелка перемещается по шкале 5. Градуировку шкалы анероида осуществляют и выверяют по показаниям ртутного барометра.

Барометры-анероиды менее надёжны, чем ртутные, так как содержащиеся в них пружины и мембранны со временем изменяют свою упругость. Однако вследствие своей портативности и отсутствия жидкости они более удобны в обращении и потому широко используются на практике.

Барометры являются необходимыми приборами в метеорологических исследованиях, так как знание атмосферного давления важно для предсказания погоды на ближайшие дни.

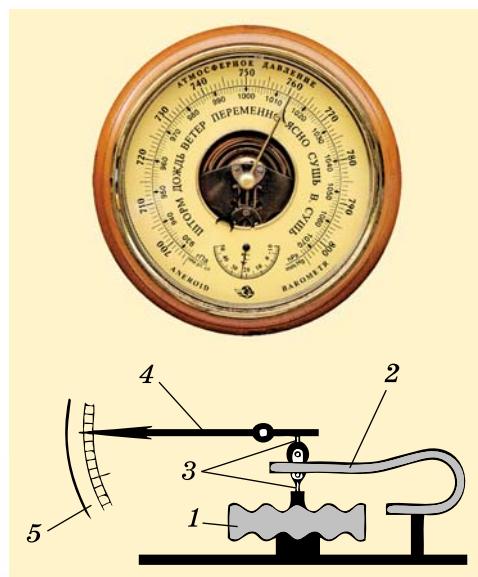


Рис. 5.50

Чувствительность анероидов настолько высока, что даже при поднятии барометра на 2—3 м стрелка-указатель прибора заметно перемещается. Это позволяет обнаружить постепенное изменение атмосферного давления даже при перемещении по лестнице дома или на эскалаторе в метро.

**Высотомер.** С увеличением высоты над землёй давление воздуха уменьшается. Поднимаясь с барометром в аэростате, можно измерить давление атмосферы на разных высотах. При небольших подъёмах в среднем на каждые 12 м подъёма давление уменьшается на 1 мм рт. ст. На высоте 6 км давление воздуха примерно вдвое меньше, чем на поверхности Земли.

Знание зависимости атмосферного давления от высоты позволяет использовать барометры-анероиды в качестве *высотомеров*. Поскольку каждому значению атмосферного давления соответствует своя высота над уровнем моря, то шкалу этих приборов можно сразу проградуировать в метрах (или километрах).

Барометрические высотомеры, используемые в авиации, иначе называют *альтиметрами*. С их помощью лётчики определяют высоту полёта самолётов.



Возьмите тонкую резиновую плёнку (например, от воздушного шарика) и натяните её на горлышко литровой стеклянной банки. Закрепите плёнку с помощью скотча. Натянутая плёнка будет играть роль упругой мембранны. Из плотного картона вырежите узкую полоску и закрепите её с помощью скотча на поверхности плёнки. Наклейте миллиметровую бумагу на картон и нарисуйте шкалу. После этого закрепите шкалу у конца стрелки. Для проведения реальных измерений шкалу можно проградуировать при помощи школьного барометра-анероида.



1. Какие два вида барометров вы знаете?
2. Как устроен барометр-анероид?
3. Как изменяется давление атмосферы при увеличении высоты над Землёй? Почему?
4. Каким образом можно определить высоту полёта самолёта? Как называется служащий для этого прибор?
5. Почему воздушный шарик, наполненный водородом, при подъёме над землёй увеличивается в объёме?

Барометр-анероид. Высотомер. Альтиметр

Найти



История барометра.

## § 48. Манометры

### Вспомните

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

Барометры служат для измерения атмосферного давления. Если же требуется определить какое-либо другое давление, оказываемое жидкостью или газом, то применяют приборы, называемые манометрами (от греческого слова «манос» — редкий, неплотный).

**Трубчатый манометр.** Существуют разные конструкции манометров. На рисунке 5.51 показано устройство так называемого *трубчатого манометра*, изобретённого в 1848 г. французским учёным Э. Бурдоном. Его основной частью является согнутая в дугу полая трубка 1. Один из концов этой трубки запаян, а другой с помощью крана 4 соединяется с сосудом, в котором измеряют давление. При увеличении давления трубка начинает разгибаться и соединённая с ней (посредством рычага 5 и зубчатки 3) стрелка 2 поворачивается, указывая соответствующее давление на шкале.

Если же давление уменьшается, то трубка, наоборот, сгибается и стрелка перемещается в обратном направлении.

**Жидкостный U-образный манометр.** На рисунке 5.52 изображён другой манометр — так называемый *жидкостный U-образный манометр*. Он состоит из двухколенной стеклянной трубы (имеющей форму латинской буквы U), в которую налита жидкость (например, вода или спирт). С помощью гибкой трубы одно из колен манометра соединяют с круглой плоской коробочкой, затянутой резиновой плёнкой.

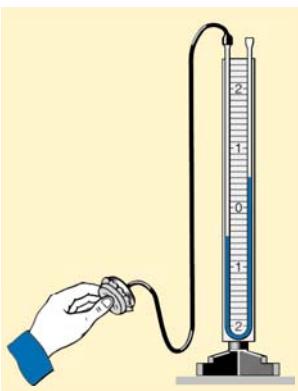


Рис. 5.52

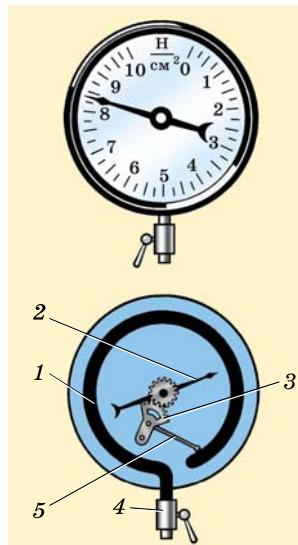


Рис. 5.51

При равенстве давлений в правом и левом коленах манометра находящаяся в них жидкость устанавливается на одном уровне. Если же на плёнку нажать (см. рис. 5.52), то уровень жидкости в одном колене манометра, соединённом с коробочкой, понизится, а в другом — на столько же повысится. Объясняется это тем, что при надавливании на плёнку давление воздуха в коробочке повышается. Это избыточное давление передаётся жидкости в соответствующем колене, и её уровень понижается. Понижение уровня в этом колене будет происходить до тех пор, пока избыточная сила давления не уравновесится весом избыточного столба жидкости в другом колене манометра. Поэтому по разности высот столбов жидкости в манометре можно судить о том, насколько давление на плёнку отличается от атмосферного. Это означает, что манометр показывает, насколько давление ( $p$ ), измеряемое им, больше или меньше атмосферного давления ( $p_{\text{атм}}$ ), т. е.  $p_m = p - p_{\text{атм}}$  или  $p_m = p_{\text{атм}} - p$  соответственно.

**Измерение давления в жидкости с помощью манометра.** На рисунке 5.53 показано, как с помощью U-образного манометра можно измерять давление внутри жидкости. Чем глубже опущена коробочка манометра, тем больше оказывается разность высот столбов жидкости внутри прибора. Ведь с увеличением глубины погружения гидростатическое давление жидкости возрастает. Если же поворачивать коробочку резиновой плёнкой в разные стороны, не изменяя глубины её погружения, то показания манометра не изменятся. Этот опыт свидетельствует о том, что на данной глубине давление по всем направлениям одинаково.



- Как называются приборы для измерения давлений, больших или меньших атмосферного?
- Как устроен и как действует жидкостный манометр?
- Что доказывает опыт, изображённый на рисунке 5.53?
- Как устроен и как действует трубчатый манометр?

Манометр. Трубчатый манометр. Жидкостный манометр

Найти

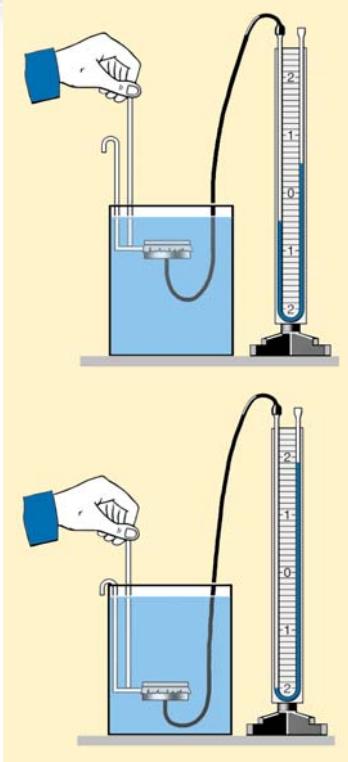


Рис. 5.53

## § 49. Водопровод.

### ПОРШНЕВОЙ ЖИДКОСТНЫЙ НАСОС

#### Вспомните

- Что такое гидростатическое давление?
- В чём заключается закон сообщающихся сосудов?
- Что такое атмосферное давление?

Человечество не может существовать без воды. Вода — основной элемент нашей пищи. Потребителем воды являются промышленность, энергетика, сельское хозяйство и транспорт. На использовании воды основано санитарно-техническое оборудование жилищ (наличие ванн, душей, канализации, системы отопления и др.).

**Водопровод.** Инженерные сооружения, служащие для снабжения водой населения, а также заводов, фабрик и т. п., называются **водопроводом**.

Воду берут из рек, водохранилищ, озёр или из-под земли. Иногда воду приходится доставлять издалека. Например, для Москвы часть воды берут из Волги по каналу длиной 128 км.

Взятая из источника вода, прежде чем попасть к потребителю, проходит через водоочистные сооружения (первые такие сооружения в нашей стране были построены в 1888 г. в Петербурге). Затем с помощью насосных станций очищенная вода подаётся в водопроводную сеть города, на заводы, животноводческие фермы и т. п.

Схема устройства водопровода показана на рисунке 5.54. С помо-

щью насоса 2 вода поступает в большой бак с водой, находящийся в водонапорной башне 1. От этой башни вдоль городских улиц на глубине примерно 2,5 м проложены трубы, от которых в каждый отдельный дом идут специальные ответвления, оканчивающиеся кранами. Эти краны не могут располагаться выше уровня воды в баке водонапорной башни, так как иначе вода до них доходить не будет.

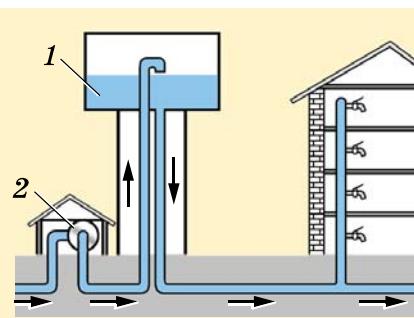


Рис. 5.54



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. Древние римляне несколько усовершенствовали устройство водопровода и научились передавать воду через реки, овраги и т. д. В Европе первый водопровод появился во Франции в конце XVII в. В России первый водопровод был сооружён в Москве в 1804 г., а затем в Петербурге в 1861 г.

**Поршневой жидкостный насос.** В бак водонапорной башни вода подаётся насосами. Это, как правило, центробежные насосы с электрическим приводом. Рассмотрим принцип действия другого насоса — так называемого **поршневого жидкостного насоса** (рис. 5.55). Основными частями этого насоса являются снабжённый клапаном 1 поршень и цилиндр с клапаном 2. Когда поршень опускается вниз, вода под ним закрывает клапан 1 и открывает клапан 2. Через этот клапан вода из цилиндра по трубе 3 начинает накачиваться в верхний резервуар с водой (например, в бак водонапорной башни). При подъёме поршня клапан 2 закрывается, а клапан 1 открывается. Через трубу 4 вода поступает в насос и заполняет цилиндр. При последующих опусканиях и поднятиях поршня процесс будет повторяться, и вода, порция за порцией, будет перекачиваться по трубе 3 в верхний резервуар.



- Где и для чего используется вода?
- Из каких элементов состоит система водоснабжения?
- Расскажите об устройстве водопровода.
- Почему водопроводные краны в домах не делают выше уровня воды в баке водонапорной башни?
- Одноковое ли давление существует в водопроводных кранах на разных этажах? От чего оно зависит?
- Опишите принцип действия поршневого жидкостного насоса.

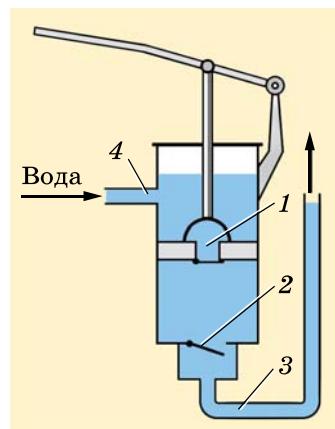


Рис. 5.55

Водопровод. Поршневой жидкостный насос

Найти



Атмосферное давление в технических устройствах.

## § 50. Гидравлический пресс

### Вспомните

- Что такое гидростатическое давление?
- В чём заключается закон сообщающихся сосудов?
- В чём заключается закон Паскаля?

После того как Паскаль провёл ряд опытов по измерению атмосферного давления, он решил сконструировать «новую машину для увеличения сил». Его изобретение позволило создать гидравлический пресс (от греческого слова «гидравликос» — водяной).

**Гидравлический пресс.** Гидравлический пресс — это машина для обработки материалов давлением, приводимая в действие сдавливающей жидкостью.

Чтобы понять принцип действия гидравлического пресса, рассмотрим рисунок 5.56. На нём изображены соединённые между собой два цилиндра с поршнями, имеющими разные площади сечения  $S_1$  и  $S_2$ . В цилиндрах находится вода и минеральное масло.

Пусть  $F_1$  и  $F_2$  — силы, действующие на поршни со стороны находящихся на них гирь. Докажем, что жидкость в цилиндрах будет находиться в равновесии лишь тогда, когда *сила, действующая на большой поршень, во столько раз превышает силу, действующую на меньший поршень, во сколько раз площадь большего поршня превышает площадь меньшего поршня*. Для этого заметим, что жидкость будет оставаться в равновесии только тогда, когда давления под поршнями будут одинаковыми:

$$p_1 = p_2.$$

Но каждое из этих давлений можно выразить через силу и площадь:

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

Таким образом,

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

откуда

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

что и требовалось доказать.

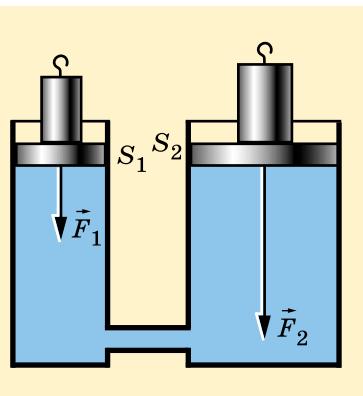


Рис. 5.56

**Важно**

Отношение  $F_2/F_1$  характеризует *выигрыш в силе*, получаемый в данной машине. Согласно полученной формуле выигрыш в силе определяется отношением площадей  $S_2/S_1$ . Поэтому, чем больше отношение площадей поршней, тем больше выигрыш в силе.

Например, если площадь малого поршня  $S_1 = 5 \text{ см}^2$ , а площадь большего поршня  $S_2 = 500 \text{ см}^2$ , то выигрыш в силе будет составлять сто раз! Установив этот удивительный факт, Паскаль написал, что с помощью изобретённой им машины «один человек, надавливающий на малый поршень, уравновесит силу ста человек, надавливающих на поршень, в сто раз больший, и тем самым преодолеет силу девяносто девяти человек». Это открытие и легло в основу принципа действия гидравлического пресса.

**Устройство гидравлического пресса.** Устройство гидравлического пресса показано на рисунке 5.57. Цифрой 4 обозначен манометр, служащий для измерения давления жидкости внутри пресса; 5 — предохранительный клапан, автоматически открывающийся, когда это давление превышает допустимое значение.

**Работа гидравлического пресса.** Действие гидравлического пресса основано на законе Паскаля. Прессуемое тело 3 помещают на платформу, соединённую с большим поршнем 2. При действии некоторой силы  $F_1$  на малый поршень 1 в узком цилиндре пресса создаётся избыточное давление  $p = F_1/S_1$ . По закону Паскаля это давление передаётся во второй цилиндр и на поршень 2 начинает действовать сила:

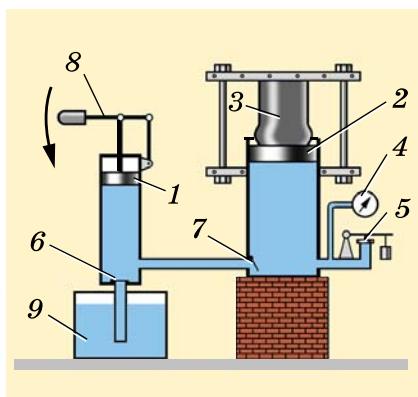


Рис. 5.57

$$F_2 = p_1 S_2 = \frac{F_1}{S_1} S_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1.$$

Так как площадь второго поршня существенно превышает площадь первого поршня, то сила  $F_2$  оказывается значительно больше силы  $F_1$ . Под действием силы  $F_2$  поршень 2 начинает подниматься и сдавливает прессуемое тело.

Последующие перекачивания жидкости из узкого цилиндра в широкий осуществляются с помощью периодических нажатий на рычаг 8. После

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

каждого нажатия рычаг следует возвращать в исходное положение. При его подъёме малый поршень перемещается вверх, клапан 6 открывается и в пространство, находящееся под поршнем, из сосуда 9 засасывается очередная порция жидкости. При опускании рычага поршень 1 перемещается вниз и сдавливаемая жидкость закрывает клапан 6; при этом клапан 7 открывается и часть жидкости переходит в широкий цилиндр.

**Применение гидравлических прессов.** Впервые гидравлические прессы стали применяться на практике в конце XVIII — начале XIX в. Современная техника уже немыслима без них. Они используются в металлообработке для ковки слитков, листовой штамповки, выдавливания труб и профилей, прессования порошковых материалов. С помощью гидравлических прессов получают фанеру, картон и искусственные алмазы.



1. Что такое гидравлический пресс?
2. Чем определяется выигрыш в силе, даваемый гидравлическим прессом (при отсутствии трения)?
3. Расскажите о применении гидравлического пресса.
4. На рисунке 5.58 изображена схема автомобильного гидравлического тормоза (1 — тормозная педаль, 2 — цилиндр с поршнем, 3 — тормозной цилиндр, 4 — тормозные колодки, 5 — тормозные барабаны, 6 — пружина). Цилиндры и трубы заполнены специальной жидкостью. Объясните принцип действия тормоза.

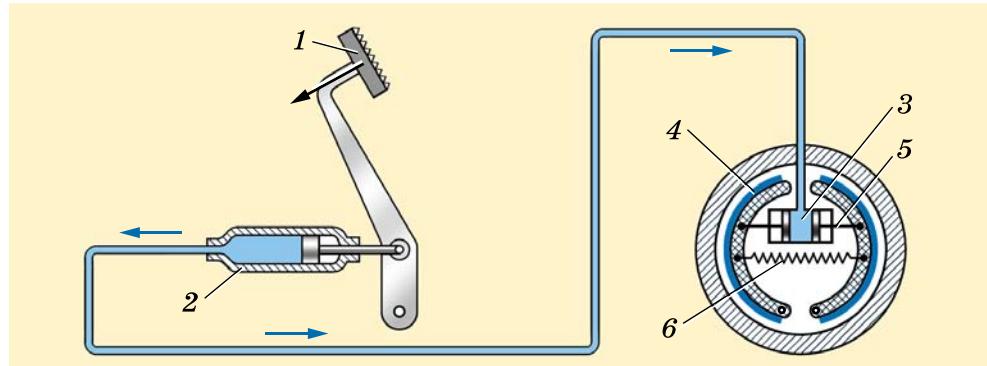


Рис. 5.58

Гидравлический пресс. Гидравлические машины.  
Гидравлический тормоз

Найти

# § 51. Действие жидкости и газа на погруженное в них тело

## Вспомните

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

Если погрузить в сосуд с водой кусочек пробки, то стоит только 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.

**Архимедова (выталкивающая) сила.** Проверим при помощи опыта гипотезу о том, что вода выталкивает предметы. Привяжем к камню тонкую резинку (рис. 5.59) 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.

## Запомните

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

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,

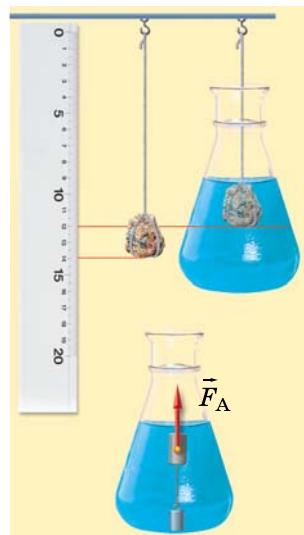


Рис. 5.59

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

которая действует на пробку, направлена вертикально вверх.

Когда тело погружают в воду, на него со всех сторон начинают действовать силы давления воды (рис. 5.60, а). В каждой точке тела эти силы направлены перпендикулярно его поверхности. Если бы все эти силы были одинаковы, то тело испытывало бы лишь всестороннее сжатие. Но на разных глубинах гидростатическое давление различно: оно возрастает с увеличением глубины. Поэтому силы давления, приложенные к нижним участкам тела, оказываются больше сил давления, действующих на тело сверху. Преобладающие силы давления действуют в направлении снизу вверх. Это и заставляет тело всплывать.

Заменим все силы давления, приложенные к погруженному в воду телу, одной (равнодействующей) силой, оказывающей на тело то же самое действие, что и все эти отдельные силы вместе. Это и есть **архимедова сила**. На рисунке 5.60, б эта сила обозначена как  $\vec{F}_A$ .

Архимедова (выталкивающая) сила действует на тело не только в воде, но и внутри любой другой жидкости, так как во всех жидкостях существует гидростатическое давление, разное на разных глубинах. Более того, эта сила действует и в газах, благодаря чему летают воздушные шары и дирижабли.

**Условия плавания тел.** Но если на любое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, почему же тогда не все тела всплывают на её поверхность? Почему тонет гвоздь? Почему не всплывает упавший в воду камень? Почему погружается на дно получивший пробоину корабль?

Чтобы понять, почему в одних случаях тела тонут, а в других всплывают, следует учесть, что на любое тело, погруженное в жидкость, действует не только выталкивающая (архимедова) сила  $F_A$ , направленная вертикально вверх, но и сила притяжения к Земле (сила тяжести)  $F_t$ , направленная вертикально вниз. От того, какая из этих сил больше, и будет зависеть состояние тела — плавает тело или тонет. Если это тело было оставлено внутри жидкости в состоянии покоя, то при наличии обеих сил оно начнёт двигаться в ту сторону, в которую направлена большая из них. При этом возможны следующие случаи:

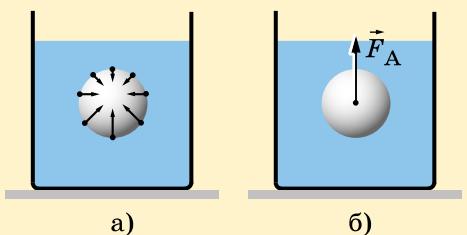


Рис. 5.60

**Важно**

- 1) если архимедова сила меньше силы тяжести ( $F_A < F_T$ ), то тело будет опускаться на дно, т. е. тонуть (рис. 5.61, а);
- 2) если архимедова сила больше силы тяжести ( $F_A > F_T$ ), то тело будет подниматься вверх, т. е. всплыть (рис. 5.61, б);
- 3) если архимедова сила равна силе тяжести ( $F_A = F_T$ ), то тело плавает, находясь в покое или двигаясь равномерно.

**Как вычислить архимедову силу.**

Благодаря выталкивающей силе вес любого тела, находящегося в воде (или в любой другой жидкости), оказывается меньше, чем вес этого тела в воздухе (а в воздухе меньше, чем в безвоздушном пространстве). В этом легко убедиться на опыте. Достаточно прикрепить груз к динамометру (или к пружине со стрелкой-указателем) и, запомнив положение стрелки-указателя, опустить груз (не отсоединяя его от динамометра) в сосуд с водой. Мы увидим, как стрелка-указатель прибора переместится вверх, показывая уменьшение веса (рис. 5.62).

Уменьшение веса происходит и при переносе тела из вакуума в воздух (или какой-либо другой газ).

Если вес тела в вакууме (например, в сосуде, из которого откачен воздух) равен  $P_0$ , то его вес в воздухе будет равен

$$P_{\text{возд}} = P_0 - F'_A, \quad (51.1)$$

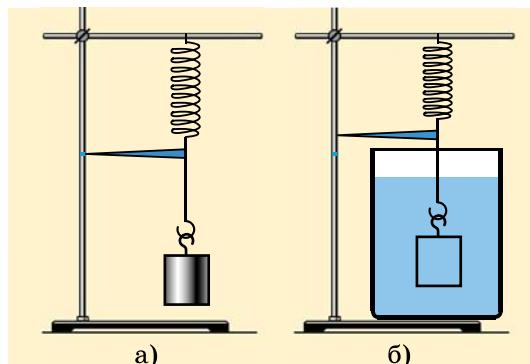


Рис. 5.62

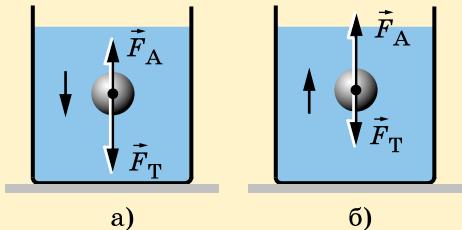


Рис. 5.61

где  $F'_A$  — архимедова сила, действующая на данное тело в воздухе. Для большинства обычных тел (не взлетающих вверх, подобно воздушному шару) эта сила ничтожно мала по сравнению с весом тела в вакууме, и потому ею можно пренебречь. В таких случаях мы будем считать, что

$$P_{\text{возд}} = P_0 = mg.$$

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

Вес тела в жидкости уменьшается значительно сильнее, чем в воздухе. Если вес тела в воздухе  $P_{\text{возд}} = P_0$ , то вес тела в жидкости оказывается равным

$$P_{\text{в жидк}} = P_0 - F_A, \quad (51.2)$$

где  $F_A$  — архимедова сила, действующая на это тело в данной жидкости.

Из последней формулы следует, что

$$F_A = P_0 - P_{\text{в жидк}}.$$

### Запомните

Для нахождения архимедовой силы, действующей на то или иное тело внутри какой-либо жидкости, следует взвесить это тело в воздухе и в жидкости, а затем найти разность полученных значений. Это и будет архимедова (выталкивающая) сила:  $F_A = P_0 - P_{\text{в жидк}}$ .



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

Дано:

$$\begin{array}{l} P_{\text{возд}} = 30 \text{ Н} \\ P_{\text{в жидк}} = 10 \text{ Н} \end{array}$$

$F_A — ?$

Решение:

$$\begin{array}{l} F_A = P_{\text{возд}} - P_{\text{в жидк}}; \\ F_A = 30 \text{ Н} - 10 \text{ Н} = 20 \text{ Н}. \end{array}$$

Ответ:  $F_A = 20 \text{ Н}$ .



1. Какие известные вам из жизни явления указывают на существование выталкивающей силы?
2. Что является причиной возникновения выталкивающей силы?
3. Какие две силы действуют на любое тело, находящееся внутри жидкости или газа?
4. В каком случае тело будет тонуть в жидкости, а в каком — всплывать?
5. Почему, находясь под водой, человек иногда может легко поднять предмет, который с трудом удерживает в воздухе?
6. Каким образом можно измерить архимедову силу?
7. Будет ли действовать выталкивающая сила на тело, плотно прилегающее ко дну?

Архимедова (выталкивающая) сила. Плавание тел

Найти



В замкнутом сосуде с водой плавает деревянный брускок. Изменится ли глубина погружения бруска в воду, если в сосуд накачать воздух?

## § 52. Закон Архимеда

### Вспомните

- Какую силу называют выталкивающей или архимедовой?
- Как определить архимедову силу?

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

**Определение архимедовой силы опытным путём.** Проделаем опыт (рис. 5.63). Подвесим к пружине 1 небольшое ведёрко 2 и тело цилиндрической формы 3. Отметив положение стрелки-указателя на штативе (рис. 5.63, а), поместим тело в сосуд, наполненный жидкостью до уровня отливной трубки. При этом часть жидкости, объём которой равен объёму тела, выльется из сосуда в находящийся рядом стакан (рис. 5.63, б). Одновременно с этим вес тела в жидкости уменьшится, и указатель пружины переместится вверх.

Из предыдущего параграфа мы узнали, что вес тела в жидкости уменьшается на величину, равную архимедовой (выталкивающей) силе. Связана ли эта величина с количеством вытесненной телом жидкости? Чтобы выяснить это, перельём жидкость из стакана в ведёрко 2. Мы увидим, как стрелка-указатель снова возвратится к своему прежнему положению (рис. 5.63, в).

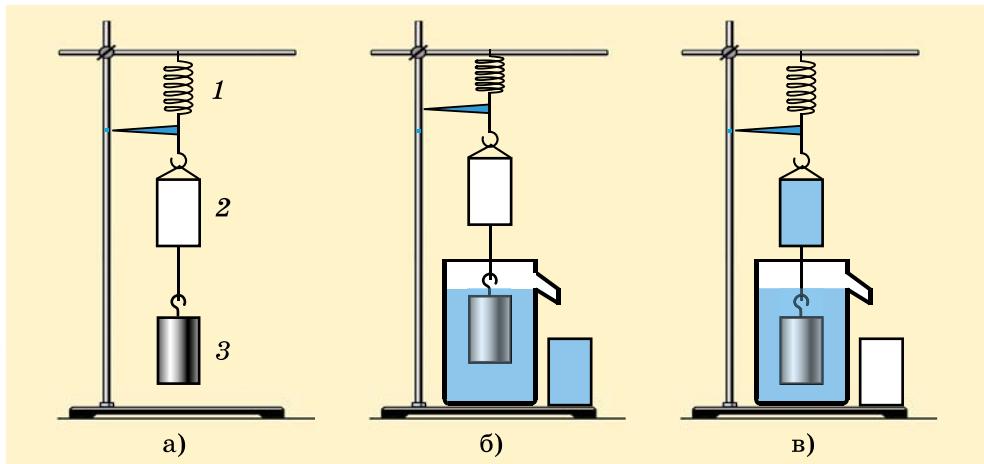


Рис. 5.63

**Важно**

Это означает, что вытесненная телом жидкость весит столько же, сколько теряет в своём весе погруженное в жидкость тело.

**Закон Архимеда.** Но вес тела в жидкости меньше веса того же тела в воздухе на величину, равную выталкивающей силе. Поэтому окончательный вывод можно сформулировать следующим образом: выталкивающая сила, действующая на погруженное в жидкость тело, равна весу жидкости, вытесненной этим телом. Этот закон был открыт Архимедом и потому носит его имя — **закон Архимеда**.

**Запомните**

**Закон Архимеда** гласит: на тело, погруженное в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная по модулю весу жидкости (газа), вытесненной телом.

Мы установили этот закон опытным путём. Теперь докажем его теоретически. Для этого заметим, что выталкивающая сила (как равнодействующая всех сил давления, действующих со всех сторон на погруженное в жидкость тело) не зависит от того, из какого вещества сделано это тело. Если, например, в воде находится шарик, то давление окружающих слоёв воды будет одним и тем же независимо от того, сделан ли этот шарик из пластмассы, стекла или стали. (Точно так же давление столба жидкости на дно сосуда не зависит от того, из какого материала изготовлено дно этого сосуда.) А раз так, то рассмотрим простейший случай, когда погруженное в жидкость тело состоит из той же жидкости, в которую оно погружено. Это тело (жидкое), как и любая другая часть окружающей жидкости, будет, очевидно, находиться в равновесии. Поэтому приложенная к нему архимедова сила  $F_A$  будет уравновешена действующей вниз силой тяжести  $m_{жк}g$  (где  $m_{жк}$  — масса жидкости в объёме данного тела):

$$F_A = m_{жк}g. \quad (52.1)$$

Но сила тяжести  $m_{жк}g$  равна весу вытесненной жидкости  $P_{жк}$ . Таким образом,  $F_A = P_{жк}$ , что и требовалось доказать. Формулу (52.1) можно записать в другом виде. Учитывая, что масса жидкости  $m_{жк}$  равна произведению её плотности  $\rho_{жк}$  на объём  $V_{жк}$ , получаем

$$F_A = \rho_{жк} V_{жк} g. \quad (52.2)$$

Через  $V_{ж}$  здесь обозначен объём вытесненной жидкости. Этот объём равен объёму той части тела, которая погружена в жидкость. Если тело погружено в жидкость целиком, то он совпадает с объёмом  $V$  всего тела; если же тело погружено в жидкость частично, то он меньше объёма  $V$  тела (рис. 5.64).

Формула (52.2) справедлива и для архимедовой силы, действующей в газе; только в этом случае в неё следует подставлять плотность газа и объём вытесненного газа, а не жидкости.

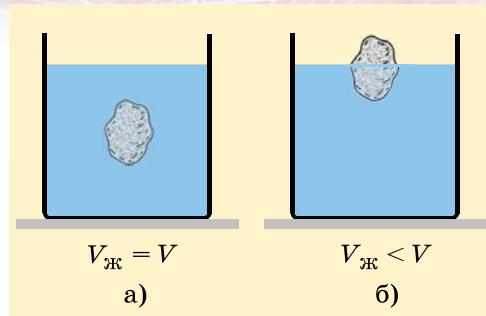


Рис. 5.64

**Запомните**

С учётом вышеизложенного **закон Архимеда** в настоящее время формулируют следующим образом: на всякое тело, погруженное в покоящуюся жидкость (или газ), действует со стороны этой жидкости (или газа) выталкивающая сила, равная произведению плотности жидкости (или газа), ускорения свободного падения и объёма той части тела, которая погружена в жидкость (или газ).

$$F_A = \rho_{ж} V_{ж} g,$$

где  $V_{ж}$  — объём вытесненной жидкости, равный объёму той части тела, которая погружена в жидкость.



**Решение задач.** 1. Сколько весит в воде чугунная гиря объёмом 0,002 м<sup>3</sup>? Плотность чугуна 7000 кг/м<sup>3</sup>.

Дано:

$$V = 0,002 \text{ м}^3$$

$$\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$P - ?$$

Решение:

$$\text{Вес тела в воде: } P = P_0 - F_A.$$

$$\text{Вес тела в воздухе: } P_0 = mg = \rho Vg,$$

$$P_0 = 7000 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,002 \text{ м}^3 \cdot 10 \text{ Н/кг} = 140 \text{ Н.}$$

$$\text{Архимедова сила } F_A = \rho_{ж} g V,$$

$$F_A = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 0,002 \text{ м}^3 = 20 \text{ Н.}$$

$$\text{Следовательно, } P = 140 \text{ Н} - 20 \text{ Н} = 120 \text{ Н.}$$

$$\text{Ответ: } P = 120 \text{ Н.}$$

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

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

Дано:

$$F_A = 20 \text{ Н}$$

$$\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$V_k — ?$$

Решение:

$$F_A = \rho_{ж} g V_k,$$

$$V_k = F_A / \rho_{ж} g.$$

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

Ответ:  $V_k = 2 \text{ дм}^3$ .



- Сформулируйте закон Архимеда в старой и современной (более общей) формах.
- Имеются два шарика одинакового радиуса: деревянный и стальной. Однаковая ли выталкивающая сила будет действовать на них при их полном погружении в воду?
- Тело полностью погрузили сначала в чистую воду, а затем в солёную. В какой воде на тело действовала большая выталкивающая сила?
- К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: свинцовый и алюминиевый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в воду?
- К коромыслу весов подвешены два одинаковых по объёму алюминиевых цилиндра. Нарушится ли равновесие весов, если одновременно погрузить один цилиндр в воду, а другой — в спирт?

Архимедова (выталкивающая) сила. Закон Архимеда

Найти

## § 53. Плавание тел

### Вспомните

- Какие силы действуют на погруженное в воду тело?
- Как определить силу, действующую на тело, погруженное в жидкость или газ, со стороны этой жидкости или газа?

Мы знаем, что на любое тело, находящееся в жидкости, действуют две силы: выталкивающая (архимедова) сила  $F_A$ , направленная вертикально вверх, и сила тяжести  $F_t$ , направленная вертикально вниз.

**Условия плавания тел.** Если эти силы равны, т. е.

$$F_t = F_A, \quad (53.1)$$

то тело находится в равновесии.

Равенство (53.1) выражает **условие плавания тел:** для того чтобы тело плавало, необходимо, чтобы действующая на него сила тяжести уравновешивалась архимедовой (выталкивающей) силой.

Условию плавания тел можно придать иную форму. Представим архимедову силу в виде

$$F_A = \rho_{ж} V_{ж} g. \quad (53.2)$$

Аналогичным образом можно выразить и силу тяжести, действующую на тело. Мы знаем, что  $F_t = mg$ , где  $m$  — масса тела, но масса тела равна произведению плотности тела на его объём:  $m = \rho V$ . Поэтому

$$F_t = \rho V g. \quad (53.3)$$

Подставим выражения (53.2) и (53.3) в равенство (53.1):

$$\rho V g = \rho_{ж} V_{ж} g.$$

Разделив обе части этого равенства на  $g$ , получим **условие плавания тел** в новой форме:

$$\rho V = \rho_{ж} V_{ж}. \quad (53.4)$$

Из соотношения (53.4) можно вывести два важных следствия.

### Важно

1. Для того чтобы сплошное тело плавало, будучи полностью погруженным в жидкость, необходимо, чтобы плотность тела была равна плотности жидкости.

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

**Доказательство.** Если тело полностью погружено в жидкость, то объём вытесненной телом жидкости будет равен объёму всего тела (см. рис. 5.64, а):  $V_{ж} = V$ . А раз так, то эти объёмы в формуле (53.4) можно сократить. При этом останется  $\rho = \rho_{ж}$ , что и требовалось доказать.

### Важно

2. Для того чтобы сплошное тело плавало, частично выступая над поверхностью жидкости, необходимо, чтобы плотность тела была меньше плотности жидкости.

**Доказательство.** Если тело плавает, частично выступая над поверхностью жидкости, то объём вытесненной телом жидкости будет меньше объёма всего тела (см. рис. 5.64, б):  $V_{ж} < V$ . А раз так, то для сохранения равенства (53.4) необходимо, чтобы плотность жидкости была больше плотности тела:  $\rho_{ж} > \rho$ , что и требовалось доказать.

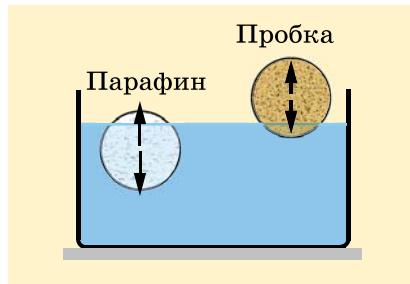


Рис. 5.65

### Важно

При  $\rho > \rho_{ж}$  плавание тела невозможно, так как в этом случае сила тяжести превышает архимедову силу и тело тонет.

**Всплытие тела.** Что будет происходить с телом, у которого  $\rho < \rho_{ж}$ , если его полностью погрузить в жидкость? В этом случае архимедова сила будет преобладать над силой тяжести, и потому тело начнёт подниматься вверх. Пока тело будет двигаться, будучи полностью погруженным в жидкость, архимедова сила будет оставаться неизменной. Но как только тело достигнет поверхности жидкости и появится над ней, эта сила (по мере уменьшения объёма части тела, погруженной в жидкость) будет становиться всё меньше и меньше. Всплытие прекратится тогда, когда архимедова (выталкивающая) сила уменьшится и станет равной силе тяжести. При этом, чем меньшей плотностью (по сравнению с плотностью жидкости) обладает тело, тем меньшая его часть останется внутри жидкости (рис. 5.65).

**Решение задач.** В море плавает ледяной айсберг (рис. 5.66). Какая часть объёма айсберга находится под водой? Плотности льда и морской воды равны соответственно 900 и 1030 кг/м<sup>3</sup>.



## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

**Дано:**

$$\rho = 900 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{ж} = 1030 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{V_{ж}}{V} - ?$$

**Решение:**

Запишем условие плавания айсберга в форме уравнения (53.4):  $\rho V = \rho_{ж} V_{ж}$ .

Отсюда

$$\frac{V_{ж}}{V} = \frac{\rho}{\rho_{ж}}, \quad \frac{V_{ж}}{V} = \frac{900}{1030} = 0,87.$$

**Ответ:**  $V_{ж}/V = 0,87$  (т. е. 87%).



Опустите сырую картофелину в стеклянную банку с пресной водой. Почему она тонет? Как будет вести себя картофелина, если в воду насыпать соль? Медленно высыпая соль и размешивая воду, добейтесь того, чтобы картофелина могла плавать в толще воды, будучи полностью в неё погруженной. Какой должна быть плотность солёной воды, чтобы это было возможным?



1. Сформулируйте условие плавания тел.
2. В каком случае тело плавает полностью погруженным в жидкость?
3. В каком случае тело плавает, частично выступая над поверхностью жидкости?
4. Предположим, что в сосуд налили воду и керосин. Какая из этих жидкостей расположится сверху?
5. В какой из следующих жидкостей будет плавать лёд: в керосине, в воде или в спирте?
6. В какой из следующих жидкостей будет плавать гвоздь: в ртути или в машинном масле?
7. Куриное яйцо тонет в пресной воде, но плавает в солёной. Почему?
8. Как зависит глубина погружения плавающего тела от его плотности?

Условия плавания тел

Найти



Что произойдёт с уровнем воды в бассейне, если из лодки, плавающей в нём, бросить в воду бревно?



- Плавание айсбергов

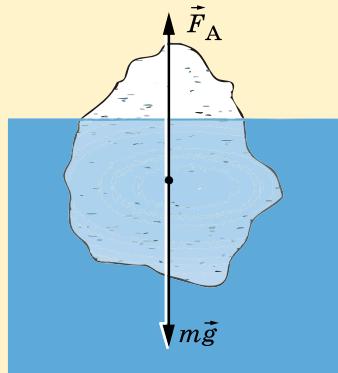


Рис. 5.66

## § 54. ПЛАВАНИЕ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

### Вспомните

- Каковы условия плавания тел?

Средняя плотность живых организмов, населяющих водную среду, близка к плотности окружающей их воды. Это и делает возможным их плавание под водой. Плаванию животных в толще воды способствует также дополнительная подъёмная сила, которая возникает при их перемещении в водной среде<sup>1</sup>.

**Плавание животных.** Различают активное и пассивное плавание. При *активном плавании* животные передвигаются либо с помощью имеющихся у них гребных органов (как, например, различные ластоногие животные, а также простейшие организмы, использующие свои жгутики или реснички), либо посредством волнобразных изгибаний тела и с помощью непарных плавников (как, например, киты, большинство рыб, змей, пиявки и т. п.), либо в результате периодических выталкиваний воды (как, например, медузы и осьминоги). При *пассивном плавании* животные просто увлекаются движущейся водой.

Скорость передвижения животных в воде может достигать довольно больших значений. Например, акулы и скунбрии плавают со скоростью 20 км/ч и более, летучие рыбы разгоняются до скорости 65 км/ч, а меч-рыба развивает скорость до 130 км/ч.

Большую роль в передвижении рыб внутри воды играет плавательный пузырь. Меняя объём этого пузыря (а также количество газа в нём), рыба способна как увеличивать, так и уменьшать действующую на неё выталкивающую силу. Благодаря этому рыба может в определённых пределах регулировать глубину своего погружения.

Киты регулируют глубину своего погружения за счёт уменьшения и увеличения объёма лёгких.

**Плавание человека.** Строение человека таково, что его плотность оказывается близкой к плотности воды. У многих людей она чуть меньше, особенно когда желудок пустой, а вода солёная. В таких случаях человек способен свободно находиться на поверхности воды, не боясь утонуть. Вот что написал об этом в одном из своих рассказов американский писатель Эдгар По (1809—1849):

<sup>1</sup> Эта подъёмная сила аналогична той, которая действует на крылья летящего самолёта.



«В среднем человеческое тело немногим тяжелее или легче воды... Тела тучных, дородных людей с тонкими костями и тела подавляющего большинства женщин легче, чем тела худощавых крупнокостных мужчин... Упавший в реку человек почти никогда не пойдёт ко дну, если он позволит весу своего тела прийти в соответствие с весом вытесненной им воды — другими словами, если он погрузится в воду почти целиком. Для людей, не умеющих плавать, наиболее правильной будет вертикальная позиция идущего человека, причём голову следует откинуть и погрузить в воду так, чтобы над ней оставались только рот и нос. Приняв подобную позу, вы обнаружите, что без всяких усилий и труда держитесь у самой поверхности. Однако совершенно очевидно, что вес человеческого тела и вес воды, которую оно вытесняет, находятся лишь в весьма хрупком равновесии, так что достаточно ничтожного пустяка, чтобы оно нарушилось в ту или иную сторону. Например, рука, поднятая над водой и тем самым лишённая её поддержки, представляет собой добавочный вес, которого достаточно, чтобы голова ушла под воду целиком, тогда как случайно схваченный даже небольшой кусок дерева позволит вам приподнять голову и оглядеться. Человек, не умеющий плавать, обычно начинает биться в воде, вскидывает руки и старается держать голову, как всегда, прямо. В результате рот и ноздри оказываются под водой, которая при попытке вздохнуть проникает в лёгкие. Кроме того, большое её количество попадает в желудок, и всё тело становится тяжелее настолько, насколько вода тяжелее воздуха, наполнившего эти полости прежде. Как правило, этой разницы достаточно для того, чтобы человек пошёл ко дну».

**Солёные водоёмы.** На Земле есть и такое море, в котором вообще невозможно утонуть. Это солёное озеро, называемое Мёртвым морем. Оно настолько солёное, что в нём отсутствует всякая жизнь (за исключением некоторых видов бактерий). Если вода большинства морей и океанов содержит 2—3% соли, то в Мёртвом море её содержится более 27%! Из-за большого содержания соли плотность воды здесь оказывается больше плотности человеческого тела, и потому человек в Мёртвом море может спокойно лежать на его поверхности и читать книгу. Если же в эту воду войдёт лошадь, то, как пишет Марк Твен, она оказывается в столь неустойчивом состоянии, что «не может ни плавать, ни стоять в Мёртвом море,— она тотчас же ложится на бок».

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

Помимо Мёртвого моря, огромной солёностью обладают также воды залива Кара-Богаз-Гол и озера Эльтон в Волгоградской области.



Попытайтесь определить среднюю плотность своего тела. Для этого сначала измерьте массу (например, на весах в медицинском кабинете школы). Затем с помощью друга определите объём тела. При определении своего объёма погрузитесь полностью в ванну с водой. Одновременно с этим ваш друг с помощью кусочка липкой ленты (скотча) должен отметить уровень поднявшейся воды в ванне. Затем, выйдя из ванны, возьмите литровую (или поллитровую) банку и добавьте в ванну столько воды, чтобы её поверхность поднялась до отмеченного лентой уровня. Подсчитав, сколько банок воды пришлось вылить в ванну, вы найдёте свой объём, а зная объём и массу, — плотность. Определив свою плотность, сравните её с плотностью воды. Будете ли вы тонуть в морской воде? Плотность морской воды составляет обычно  $1010—1050 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Плотность воды в заливе Кара-Богаз-Гол равна  $1180 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Плавание животных. Активное и пассивное плавание.

Плавание человека. Плотность тела человека.

Мёртвое море

Найти



Способы плавания морских животных и рыб.



Солёность (плотность) морей и океанов на Земле



- Плавание рыб и морских животных
- Влияние давления на подводный растительный и животный мир
- Глубоководные обитатели

## § 55. Плавание судов

### Вспомните

- При каком условии тело, находящееся в жидкости, тонет? плавает? всплывает?

Необходимость преодолевать водные преграды, перевозя грузы по воде, а также использование рек, озёр и морей как охотничьих угодий уже в глубокой древности привели к изобретению человеком плавучих средств.

**Первые плавучие средства.** Сначала это были просто древесные стволы или надутые мешки из шкур животных (бурдюки), за которые держались переплывающие реку люди, примитивные плоты из скреплённых друг с другом брёвен, круглые корзины, обтянутые кожей, а также лодки, которые выдалбливались или выжигались из массивных стволов деревьев. Развивающееся морское дело требовало увеличения размеров плавающих судов, что привело к построению кораблей.

**Парусные суда.** Первые плавучие средства передвигались либо просто благодаря течению реки, либо за счёт использования шестов и вёсел. Позже стали применяться паруса. Первые паруса изготавливались из шкур, тростниковых циновок и деревянных планок. Долгое время паруса играли вспомогательную роль, и лишь в X—XIII вв. появились первые чисто парусные суда. Наивысшего развития они достигли во второй половине XIX в.: длина их составляла 90 м, скорость 33 км/ч и более. Самыми быстроходными из них были трёх- и четырёхмачтовые клиперы (рис. 5.67). Они перевозили из Азии и Австралии чай, шерсть и другие ценные грузы, которых не хватало в Европе и Америке. Рекордная скорость, поставленная чайным клипером «Катти Сарк», — 21 узел (1 уз. = 1,852 км/ч).

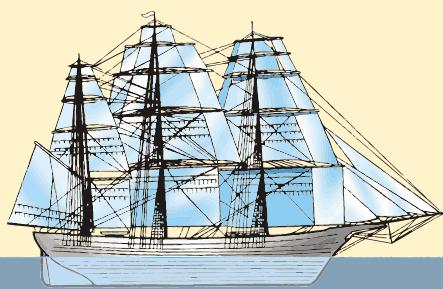


Рис. 5.67

**Пароход.** В 1803 г. Р. Фултон установил на 18-метровой лодке гребные колёса, приводимые в движение паровой машиной. Первые испытания нового судна на реке Сене (в Париже) прошли неудачно: лодка

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

затонула. Двигатель с затонувшей лодки поставили на новое судно, но и эта попытка не увенчалась успехом. Для продолжения испытаний требовалась финансовая поддержка. Однако когда Фултон обратился за поддержкой к Наполеону Бонапарту, предлагая перевести французские корабли на паровую тягу, то получил отказ. Осуществить свой проект Фултон смог лишь у себя на родине, в США, где в 1807 г. построил первый действующий пароход «Клермонт». Этот пароход стал совершать регулярные рейсы по реке Гудзон, проходя расстояние 277 км со средней скоростью 9 км/ч.

После изобретения парохода в разных странах мира на судна стали устанавливать паровые машины, и паруса постепенно утратили своё значение.

**Теплоход.** В 1903 г. в России был построен первый *теплоход* — судно, приводимое в движение с помощью двигателя внутреннего сгорания. В настоящее время теплоходы являются самым распространённым видом водного транспорта.

**Материал для изготовления судов.** На протяжении тысячелетий дерево представлялось единственным материалом, пригодным для построения судов. Дерево (плотность которого меньше плотности воды) не тонет и запасов его в лесах столько, что проблем с построением из него судов никогда не будет.

Когда же в середине XVII в. появились предложения заменить в судостроении дерево на железо, многим это показалось абсурдным. Плотность железа больше плотности воды, и потому любой железный предмет, брошенный в воду, тонет. Как же можно строить корабли из железа? Между тем в 1787 г. англичанину Дж. Уилкинсону удалось построить первое железное судно длиной 21,5 м. И оно плавало!

Со второй половины XIX в. железо начало уступать место стали. Корабли становились более прочными, надёжными и долговечными.

**Почему суда не тонут.** Масса современных судов достигает нескольких десятков тысяч тонн. Несмотря на огромную массу, их средняя плотность по-прежнему меньше плотности воды. При этом сила тяжести, действующая на судно, уравновешивается архимедовой (выталкивающей) силой, и судно плавает.

Если бы корабли не имели внутри себя заполненных воздухом отсеков и целиком состояли бы из металла, они, конечно, не смогли бы удерживаться на воде. Но корабли содержат много пустых помещений. Это и приводит к тому, что их средняя плотность оказывается меньше плотности воды.

**Осадка судна.** Глубина, на которую плавающее судно погружается в воду, называется *осадкой* судна. При полной загрузке судна оно не

должно погружаться в воду ниже так называемой *грузовой ватерлини* (от голландского слова «ватер» — вода). Так называют линию соприкосновения поверхности воды с корпусом судна, соответствующую наибольшей допустимой осадке. На бортах морских судов эта линия отмечается специальным знаком — *грузовой маркой*. Грузовую марку изображают в виде круга, пересечённого по центру горизонтальной линией (которая соответствует ватерлинии для морской воды в летнее время в зоне умеренного климата), и ряда дополнительных горизонтальных линий, показывающих предельное погружение судна в море или в реке в зависимости от времени года и района плавания.

Осадка современных супертанкеров при полной загрузке (нескольких сотен тысяч тонн) может достигать 23 м (в то время как надводная часть судна составляет всего лишь 5—6 м).

**Водоизмещение.** Массу воды, вытесняемой плавающим судном, называют *водоизмещением* судна. Водоизмещение судна совпадает с его собственной массой (вместе с грузом) и обычно выражается в тоннах. Вследствие расходования топлива, провизии, боеприпасов (на военных судах), а также приёма или снятия груза водоизмещение судна меняется. Максимальное допустимое водоизмещение судна соответствует его погружению в воду по грузовую марку.

**Подводная лодка.** Суда, способные плавать под водой, называют подводными, а все остальные — надводными.

Первая *подводная лодка* была построена в 1620 г. в Англии. Её изобретателем был голландский учёный К. ван Дреббелль. Много позже подводные лодки появились в России (1724), в Северной Америке (1776), во Франции (1801), в Германии (1850). К началу XX в. почти все морские государства начали строить боевые подводные лодки.

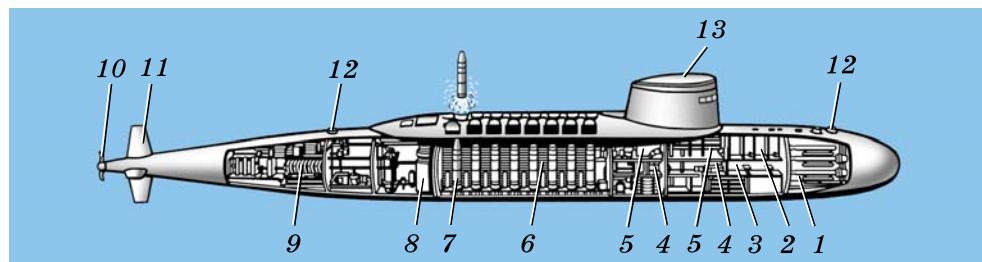


Рис. 5.68. Атомная ракетная лодка: 1 — торпедный отсек; 2 — жилые помещения; 3 — столовая; 4 — пост управления запуском ракет; 5 — центральный пост; 6 — ракетный отсек; 7 — пусковая шахта; 8 — реактор; 9 — главные турбины; 10 — гребной винт; 11 — рули управления; 12 — спасательный (выходной) люк; 13 — ходовой мостик

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

Для погружения в воду в подводных лодках применяют специальные балластные цистерны, наполняемые водой. Всплытие подводной лодки происходит вследствие вытеснения воды из этих цистерн сжатым воздухом.

Современные (атомные) подводные лодки представляют собой гигантские сооружения, оснащённые самым современным оружием (рис. 5.68).



**Решение задач.** 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:**

$$l = 40 \text{ м}$$

$$d = 15 \text{ м}$$

$$h = 0,7 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$P - ?$$

**Решение:**

Дополнительный объём воды, вытесненный загруженным паром, равен  $V = ldh$ .  
Дополнительная выталкивающая сила, действующая на загруженный паром, равна  $F_A = \rho_{\text{ж}}gV$ .

Тогда максимальный вес груза можно определить:  $P = F_A = \rho_{\text{ж}}gldh$ ;

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

**Ответ:**  $P = 4200 \text{ кН.}$



- Почему гвоздь в воде тонет, а тяжёлое металлическое судно нет?
- Почему тонет корабль, получивший пробоину? 3. Что такое осадка? 4. Что представляет собой грузовая марка? 5. Что называют водоизмещением судна? 6. С помощью чего подводные лодки могут погружаться под воду и всплывать? 7. Кто построил первый пароход? 8. Чем пароход отличается от теплохода?

Парусные суда. Пароход, теплоход. Осадка.  
Водоизмещение. Ватерлиния. Подводная лодка

Найти



- Покорение океанов.
- Как плавает подводная лодка?
- Устройство современных судов.

## § 56. Воздухоплавание

### Вспомните

- При каком условии тело, находящееся в жидкости, тонет? плавает? всплывает?

На все тела в воздухе (как и в жидкости) действует выталкивающая (архимедова) сила.

**Выталкивающая сила, действующая на тело в воздухе.** Проделаем следующий опыт. Уравновесим на весах сосуд, наполненный сжатым воздухом и закрытый пробкой, через которую пропущена стеклянная трубка, соединённая с ненадутым резиновым шариком (рис. 5.69, а). Если открыть кран на трубке, то сжатый воздух наполнит шарик, и он увеличится в объёме. Как только это произойдёт, мы увидим, что равновесие весов нарушенится (рис. 5.69, б). Произойдёт это потому, что на шарик начнёт действовать дополнительная выталкивающая сила и его вес уменьшится.

**Условия воздухоплавания.** Чтобы найти архимедову (выталкивающую) силу, действующую на тело в воздухе, надо плотность воздуха  $\rho_{\text{возд}}$  умножить на ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ Н/кг}$  и на объём  $V$  тела, находящегося в воздухе:

$$F_A = \rho_{\text{возд}} g V.$$

Если эта сила окажется больше силы тяжести, действующей на тело, то тело взлетит. На этом основано *воздухоплавание*.

**Аэростаты.** Летательные аппараты, применяемые в воздухоплавании, называют **аэростатами**. Различают управляемые, неуправляемые и привязные аэростаты. Неуправляемые аэростаты свободного полёта с оболочкой, имеющей форму шара, называют *воздушными шарами*. Управляемые аэростаты (имеющие двигатель и воздушные винты) называют *дирисажблями*. Привязные аэростаты соединяют с землёй тросом, не позволяющим аппарату совершать горизонтальные перелёты.

Чтобы аэростат поднимался вверх, его нужно наполнить газом, плотность которого

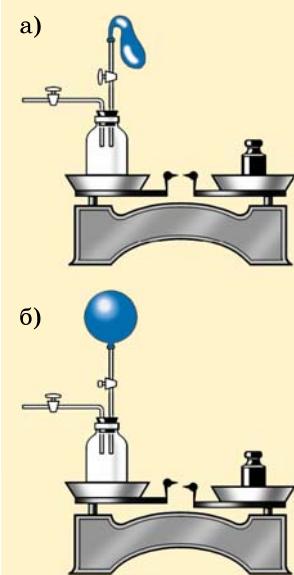


Рис. 5.69

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

меньше, чем у воздуха. Это может быть, например, водород, гелий или нагретый воздух.

**Подъёмная сила.** Для того чтобы определить, какой груз способен поднять воздушный шар, следует знать его подъёмную силу.

### Запомните

**Подъёмная сила** воздушного шара равна разности между архимедовой силой и действующей на шар силой тяжести:

$$F = F_A - F_t.$$

Чем меньше плотность газа, заполняющего воздушный шар данного объёма, тем меньше действующая на него сила тяжести и потому тем больше возникающая подъёмная сила.

При нагревании воздуха от 0 до 100 °C его плотность уменьшается всего лишь в 1,37 раза. Поэтому подъёмная сила шаров, наполненных тёплым воздухом, оказывается небольшой. Заметив это, французский учёный Ж. Шарль предложил наполнять воздушный шар водородом — газом, плотность которого в 14 раз меньше плотности воздуха. Благодаря такой плотности подъёмная сила водорода более чем втрое превышает подъёмную силу нагретого воздуха того же объёма.



**Полёты на воздушном шаре.** Первый полёт на воздушном шаре, наполненном водородом (рис. 5.70), состоялся в первый день зимы 1783 г. Диаметр шара составлял 8,5 м. Проведя в полёте 2,5 ч, воздухоплаватели провели замеры давления и температуры воздуха на высоте 3400 м. Подобные измерения впоследствии стали играть важную роль в метеорологии.

В России первые полёты на воздушном шаре были осуществлены в 1803 г. (сначала в Петербурге, затем в Москве).

В годы Великой Отечественной войны аэростаты (аэростаты заграждения) сыграли большую роль в противовоздушной обороне Москвы и Ленинграда.

Наполняя аэростат водородом, следует помнить, что этот газ обладает одним большим недостатком — он горит и вместе с воздухом образует взрывчатую смесь. Поэтому при полётах на воздушных шарах, наполненных водородом, следует соблюдать особую осторожность, иначе такой полёт может закончиться трагедией.

Негорючим и в то же время лёгким газом является гелий. Поэтому многие аэростаты в наше время наполняют гелием.

Плотность воздуха уменьшается с увеличением высоты. Поэтому по мере подъёма аэростата вверх действующая на него архимедова

сила становится меньше. После того как архимедова сила достигает значения, равного силе тяжести, подъём аэростата прекращается. Чтобы подняться выше, с шара сбрасывают специально взятый для этого балласт (например, высыпают песок из мешков). При этом сила тяжести уменьшается, и выталкивающая сила вновь оказывается преобладающей.

Для того чтобы опуститься на землю, выталкивающую силу, наоборот, следует уменьшить. Это достигается путём уменьшения объёма шара. В верхней части шара имеется специальный клапан. При открывании этого клапана часть газа из шара выходит, и шар начинает опускаться вниз.

**Стратостаты.** Воздушные шары, предназначенные для полётов в стратосферу (т. е. на высоту более 11 000 м), называют *стратостатами*. Подъёмная сила стратостатов должна быть достаточно велика. Поэтому их наполняют водородом, у которого она максимальна.

Тёплый воздух также не утратил своего значения. Он удобен тем, что его температуру (а вместе с ней его плотность и, следовательно, подъёмную силу) можно регулировать с помощью газовой горелки, расположенной под отверстием, находящимся в нижней части шара. Увеличивая пламя горелки, можно заставить шар подниматься выше. При уменьшении пламени горелки шар опускается вниз. Можно подобрать такую температуру, при которой сила тяжести, действующая на шар вместе с кабиной, оказывается равной выталкивающей силе. Тогда шар повисает в воздухе, и с него легко проводить наблюдения.



**Решение задач.** 1. Шар-зонд объёмом 90 м<sup>3</sup> наполнен водородом и привязан верёвкой к земле (рис. 5.71). С какой силой натянута верёвка, если масса оболочки зонда равна 50 кг? Плотность водорода составляет 0,09 кг/м<sup>3</sup>, а плотность воздуха — 1,29 кг/м<sup>3</sup>.

Дано:

$$V = 90 \text{ м}^3$$

$$m = 50 \text{ кг}$$

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

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

$$F = ?$$

Решение:

Сила тяжести, действующая на оболочку:

$$F_{\text{об}} = mg.$$

Сила тяжести, действующая на водород, содержащийся в оболочке:

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

Архимедова сила, действующая на шар-зонд:  $F_A = \rho_{\text{возд}} gV$ .

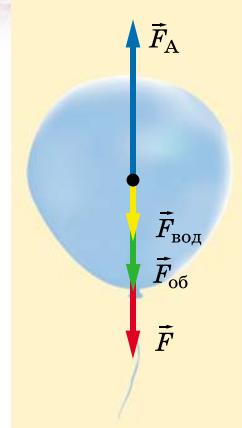


Рис. 5.71

## ГЛАВА 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

Сила, действующая на верёвку, в этом случае равна разности архимедовой силы и суммарного веса оболочки и водорода, наполняющего её:  $F = F_A - (F_{\text{об}} + F_{\text{вод}})$ ;

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

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

Ответ:  $F = 580 \text{ Н.}$

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

Дано:

$$m_6 = 0,1 \text{ кг}$$

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

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

$$V = ?$$

Решение:

Для того чтобы шарик с бруском поднялся в воздух, сила тяжести  $F_t$ , действующая на шарик, должна уравновеситься архимедовой силой  $F_A$ :  $F_A = F_t$ .

Сила тяжести, действующая на шарик вместе с грузом, равна весу бруска  $P_6$  и весу гелия  $P_{\text{гел}}$ , содержащегося в объёме шарика:  $F_t = P_6 + P_{\text{гел}}$ .

Тогда  $F_A = P_6 + P_{\text{гел}}$ ;  $\rho_{\text{возд}} gV = mg + \rho_{\text{гел}} gV$ .

Отсюда  $V = m_6 / (\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{гел}})$ ,

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

Ответ:  $V = 0,09 \text{ м}^3$ .



- Что такое аэростаты?
- Чем отличаются воздушные шары от дирижаблей?
- Какими газами наполняют аэростаты? Почему именно ими?
- Какие летательные аппараты называют стратостатами?
- Как определяется подъёмная сила воздушного шара?
- Как регулируют высоту подъёма воздушного шара, наполненного тёплым воздухом?
- Шарик, наполненный гелием, был случайно отпущен ребёнком. До каких пор этот шарик будет подниматься вверх?

Воздухоплавание. Воздушные шары, дирижабль, монгольфьер, аэростат, стратостат.  
Подъёмная сила воздушного шара

Найти



- История воздухоплавания.
- Использование воздушных шаров.
- Почему летает самолёт?

## ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ

Прочитайте текст. Запомните, что означают выделенные в тексте слова. Подготовьтесь рассказать о прочитанном своими словами. Приведите примеры, иллюстрирующие сказанное.

Действие одного тела на поверхность другого характеризует давление. **Давление** — физическая величина, которая показывает, какая сила действует на единицу площади поверхности тела, обозначается буквой *p* и выражается в паскалях (1 Па).

Газ оказывает давление на стенки сосуда, в котором находится, из-за ударов частиц газа о стенки. При постоянной температуре давление газа повышается с уменьшением его объёма и понижается с увеличением объёма.

Жидкости и газы передают оказываемое на них давление по всем направлениям одинаково — это **закон Паскаля**. В жидкости давление повышается с глубиной и на данной глубине одинаково по всем направлениям. Давление на дне морей и океанов велико. Для исследования подводного мира служат батисферы, батискафы, подводные лодки.

Из закона Паскаля для сообщающихся сосудов вытекает **закон сообщающихся сосудов**: поверхности однородной жидкости в сообщающихся сосудах находятся на одном уровне. На свойствах сообщающихся сосудов основана, например, работа шлюзов, водопровода, гидравлического пресса.

Воздушная оболочка Земли — атмосфера — оказывает на Землю и все тела на ней атмосферное давление. Нормальное атмосферное давление 760 мм рт. ст. Атмосферное давление уменьшается с высотой над уровнем моря. Для измерения атмосферного давления служит барометр-анероид. Разность между атмосферным давлением и давлением в каком-либо сосуде измеряет манометр.

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила — **сила Архимеда**. Выталкивающая сила равна весу жидкости, вытесненной телом, или весу газа, вытесненного телом.

В жидкости или газе тела могут плавать, тонуть или всплывать в зависимости от соотношения силы тяжести тела и выталкивающей силы.

### Запомните

*Запомните эти формулы:*

$$p = \frac{F}{S}, \quad p = \rho gh, \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}, \quad F_A = \rho_{ж} V_{ж} g.$$

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

### ГЛАВА 1

1. Определите цену деления измерительного цилиндра, изображённого на рисунке 1.5 (см. § 4). Чему равен объём воды в нём?

2. Определите цену деления измерительных цилиндров, изображённых на рисунке 1, если их вместимость выражена в миллилитрах. Чему равны объёмы воды в них?

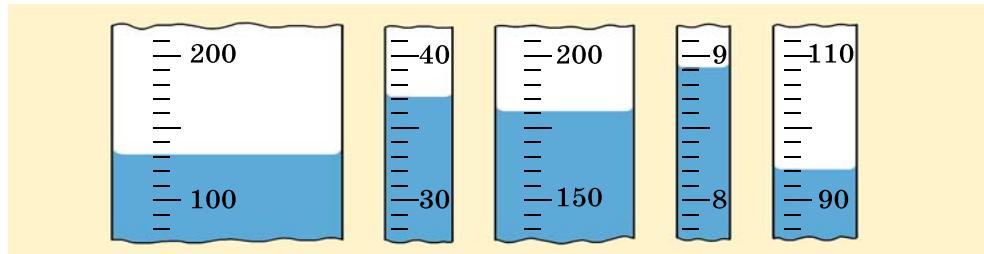


Рис. 1

3. Определите цену деления термометра, изображённого на рисунке 1.7 слева (см. § 4). Какую температуру показывает этот термометр?

4. Определите цену деления термометра, изображённого на рисунке 1.7 справа (см. § 4). Какую температуру показывает этот термометр?

### ГЛАВА 3

5. Укажите, относительно каких тел пассажир, находящийся в каюте теплохода, находится в покое и относительно каких тел он движется.

6. Укажите, относительно каких тел ученик, читающий дома книгу, находится в покое и относительно каких тел он движется.

7. Выразите в метрах следующие расстояния: 15 см; 2 км; 40 мм.

8. Выразите в метрах следующие расстояния: 5 см; 35 км; 2 мм.

9. Выразите в секундах следующие промежутки времени: 2 ч; 0,5 ч; 10 мин; 2 мин.

10. Выразите в секундах следующие промежутки времени: 1 ч; 20 мин; 0,5 мин.

11. Выразите в метрах в секунду следующие скорости: 9 км/ч; 36 км/ч; 108 км/ч; 30 м/мин; 20 см/с.

**12.** Выразите в метрах в секунду следующие скорости: 18 км/ч; 54 км/ч; 72 км/ч; 120 м/мин; 5 см/с.

**13.** Самое быстроходное млекопитающее — гепард. На коротких дистанциях он может развивать скорость 112 км/ч. Во сколько раз эта скорость превышает скорость автомобиля, равную 20 м/с?

**14.** Во сколько раз поезд, имеющий скорость 54 км/ч, движется быстрее муhi, летящей со скоростью 5 м/с?

**15.** Путь 20 км волк пробегает за 30 мин. Определите скорость волка.

**16.** Скорость первого искусственного спутника Земли, запущенного в СССР в 1957 г., составляла примерно 28 080 км/ч. Определите путь, пройденный этим спутником за 5 мин.

**17.** Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч. Какой путь он пройдет за 10 с?

**18.** За какое время солнечный свет достигает Земли, если расстояние от Солнца до Земли составляет примерно  $150 \cdot 10^6$  км?

**19.** Человек идет по дороге со скоростью 3,6 км/ч. За какое время он пройдет 500 м?

**20.** Вагон, двигаясь под уклон, проходит путь 120 м за 10 с. Скатившись с него, он проезжает до остановки еще 360 м за 1,5 мин (рис. 2). Определите среднюю скорость вагона на всем пути.

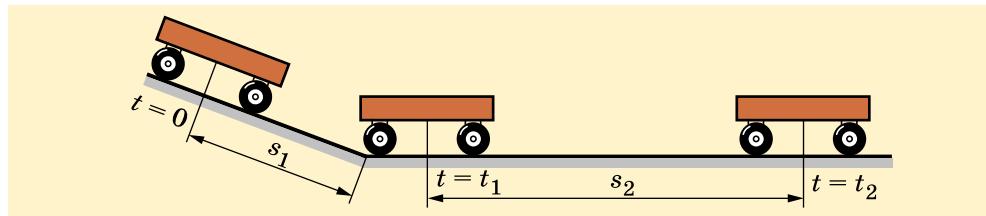


Рис. 2

**21.** Для каждой из перечисленных ниже ситуаций сделайте рисунок и укажите на нём направление ускорения, с которым движется рассматриваемое тело: а) автомобиль трогается с места; б) ракета стартует с космодрома; в) горизонтально летящая пуля попадает в земляной вал и застrevает в нём.

**22.** Гоночный автомобиль трогается с места и за 7 с разгоняется до скорости 98 м/с. Определите ускорение автомобиля.

## Задачи и упражнения

23. Если человек, сидящий в лодке, перестаёт гребти, то лодка всё равно продолжает некоторое время плыть дальше. Почему?

24. Если тарелку, полную супа, быстро поставить на стол, суп из тарелки выплеснется. Почему?

25. Выразите в килограммах следующие массы: 2 т; 1,22 т; 0,1 т; 220 г; 3 г; 150 мг; 20 мг.

26. Определяя массу тела, ученик уравновесил его на весах, поставив на другую чашу весов следующие гири: одну 50 г, две по 20 г, одну 10 г и по одной 50 мг, 20 мг и 10 мг. Чему равна масса взвешиваемого тела? Выразите её в граммах и килограммах.

27. Выразите (в  $\text{м}^3$ ) следующие объёмы: 450  $\text{дм}^3$ ; 150 мл; 5 мл; 2 л; 263  $\text{см}^3$ ; 10  $\text{см}^3$ .

28. Выразите (в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) следующие плотности: 0,9  $\text{г}/\text{см}^3$ ; 2  $\text{г}/\text{см}^3$ ; 1,5  $\text{г}/\text{см}^3$ .

29. Масса некоторого вещества, взятого в объёме 0,2  $\text{см}^3$ , равна 3,86 г. Что это за вещество?

30. При определении плотности серебряного изделия было получено значение 11  $\text{г}/\text{см}^3$ . Есть ли внутри этого серебра примеси более тяжёлых металлов?

31. На рисунке 3 изображены бруски одинаковой массы, изготовленные из меди, алюминия, олова, золота и свинца. Пользуясь таблицей плотностей, определите, из какого вещества изготовлен каждый брускок.

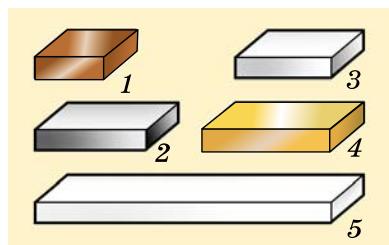


Рис. 3

32. Масса алюминиевой детали 300 г, её объём 150  $\text{см}^3$ . Есть ли в этой детали пустоты?

33. Какую массу имеет мёд, занимающий банку вместимостью 0,5 л?

34. Какую массу имеет чистая вода, если она занимает объём 1,5 л?

35. Определите массу медного провода длиной  $l = 10 \text{ м}$  и площадью поперечного сечения  $S = 2 \text{ мм}^2$ .

36. В аквариум длиной 40 см и шириной 20 см налиты воды до высоты 35 см. Определите массу налитой воды.

37. Какой объём занимают 272 г ртути?

38. Стальная деталь машины имеет массу 3,9 кг. Определите объём детали.

**39.** В результате перемещения поршня объём воздуха в цилиндре увеличился в 1,5 раза. Как при этом изменилась плотность воздуха в цилиндре?

**40.** Машина рассчитана на перевозку груза массой 3 т. Сколько листов железа можно нагрузить на неё, если длина каждого листа 2 м, ширина 80 см, а толщина 2 мм?

**41.** Масса пустой бутылки  $m = 460$  г. Масса этой же бутылки, наполненной водой,  $m_1 = 960$  г, а наполненной подсолнечным маслом,  $m_2 = 920$  г. Определите по этим данным плотность подсолнечного масла. Плотность воды считать равной  $1 \text{ г}/\text{см}^3$ .

**42.** Масса яблока  $m = 40$  г. С какой силой оно притягивается Землёй?

**43.** На дереве висит груша массой 50 г. Чему равна сила тяжести, действующая на неё?

**44.** Чему равна жёсткость пружины, если под действием силы 2 Н она растянулась на 4 см?

**45.** На сколько сантиметров растянется пружина жёсткостью 105 Н/м под действием силы 21 Н?

**46.** К вертикально расположенной пружине жёсткостью 120 Н/м прикрепили груз. Под действием этого груза пружина растянулась на 2 см. Чему равна масса груза?

**47.** Постройте график зависимости силы упругости от изменения длины тела по данным таблицы.

|                             |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| $x, \text{ м}$              | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| $F_{\text{упр}}, \text{ Н}$ | 1    | 2    | 3    | 4    |

**48.** На графиках (рис. 4) показаны зависимости силы упругости от удлинения пружин. У какой пружины жёсткость больше? Найдите жёсткости пружин.

**49.** Девочка купила 0,75 л подсолнечного масла. Определите вес этого масла в бутылке, стоящей на столе. Плотность масла  $930 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

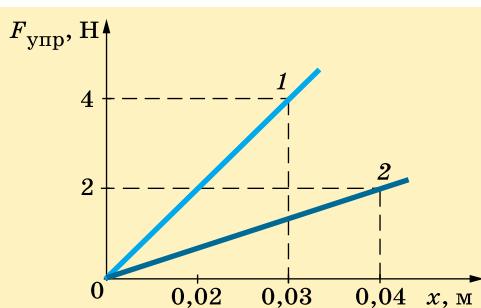


Рис. 4

## Задачи и упражнения

50. На рисунке 5 изображён динамометр с грузом. Определите цену деления динамометра. Чему равны сила тяжести груза и его вес?

51. На рисунке 6 изображён динамометр с грузом. Определите цену деления динамометра. Чему равны сила тяжести груза и его вес?

52. Самая крупная в мире птица — африканский страус: его масса достигает 90 кг. Определите вес страуса, стоящего на земле, и сравните его с весом самой маленькой птицы — колибри массой 2 г, спокойно сидящей на ветке.

53. На деревянной доске лежит деревянный брускок массой 50 г. Удастся ли его сдвинуть с места, приложив к нему в горизонтальном направлении силу, равную 0,25 Н?

54. Какую наименьшую силу следует приложить к стальному брускку массой 1 кг, находящемуся на горизонтальной деревянной поверхности, чтобы сдвинуть его с места? Максимальная сила трения покоя стали по дереву составляет примерно 0,55 от веса бруска.

55. Человек спускается на парашюте. Сила тяжести парашютиста вместе с парашютом 700 Н. Чему равна сила сопротивления воздуха, если движение парашютиста является равномерным?

### ГЛАВА 4

56. Какую работу совершают сила трения, действующая на ящик, при его перемещении на 40 см? Сила трения равна 5 Н.

57. Груз поднимают вертикально вверх, прикладывая силу 20 Н. Какую работу совершает эта сила, если высота, на которую поднимают груз, составляет 2 м?

58. Мяч массой 50 г брошен вертикально вверх. Какую работу совершил сила тяжести мяча при его подъёме до высоты 3 м?

59. Камень массой 800 г падает на землю с высоты 4 м. Какую работу при этом совершает сила тяжести?

60. При помощи подъёмного крана подняли груз массой 2,5 т на высоту 12 м. Какая работа при этом была совершена?

61. Какую работу совершает двигатель мощностью 100 кВт за 20 мин?

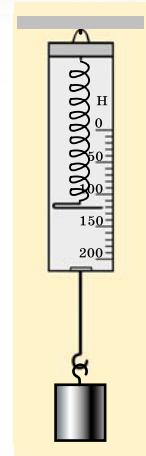


Рис. 5

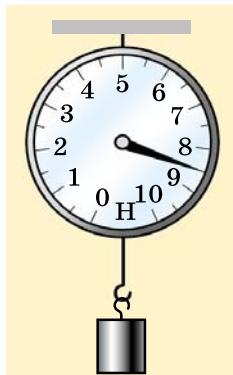
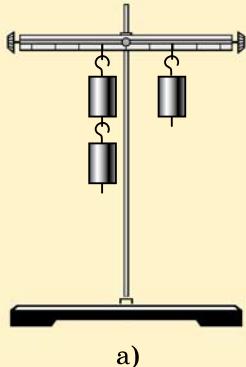


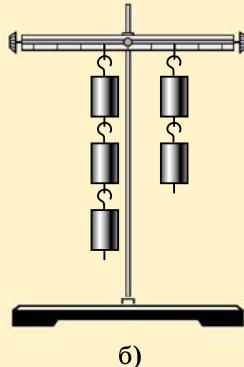
Рис. 6

- 62.** Чему равна мощность двигателя, если за 10 мин он совершают работу 7,2 МДж?
- 63.** Штангист поднял штангу массой 125 кг на высоту 70 см за 0,3 с. Какую среднюю мощность развил спортсмен при этом?
- 64.** Чему равна кинетическая энергия пули массой 10 г, летящей со скоростью 800 м/с?
- 65.** Какой кинетической энергией обладает голубь, летящий со скоростью 61 км/ч? Масса голубя 400 г.
- 66.** На какую высоту нужно подбросить мяч массой 0,5 кг, чтобы он приобрёл потенциальную энергию 25 Дж относительно поверхности земли?
- 67.** Чему равна потенциальная энергия воды объёмом 1 л на высоте 2 м?
- 68.** На одной и той же высоте находятся деревянный и железный бруски одинакового размера. Какой из брусков обладает большей потенциальной энергией?
- 69.** Могут ли два тела обладать одинаковой кинетической энергией, если они: а) имеют разную массу; б) имеют разные скорости? При каких условиях?
- 70.** Полная механическая энергия тела равна 0,8 кДж. Чему равна его кинетическая энергия, если потенциальная составляет 250 Дж?
- 71.** Полная механическая энергия тела равна 1,2 кДж. Чему равна его потенциальная энергия, если кинетическая составляет 900 Дж?
- 72.** Определите полную механическую энергию камня массой 200 г, движущегося на высоте 4 м со скоростью 10 м/с.
- 73.** Чему равна полная механическая энергия гранаты массой 1,8 кг, если на высоте 3 м она имеет скорость 70 м/с?
- 74.** Мяч бросают вертикально вниз со скоростью 10 м/с. На какую высоту отскочит этот мяч после удара о пол, если высота, с которой бросили мяч, была равна 1 м? Потерями энергии при ударе мяча о пол пренебречь.
- 75.** С какой высоты упало яблоко, если оно ударилось о землю со скоростью 6 м/с?
- 76.** До какой максимальной высоты долетит стрела, выпущенная из лука вертикально вверх со скоростью 40 м/с? Сопротивлением воздуха пренебречь.

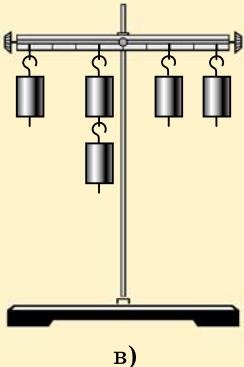
## Задачи и упражнения



a)



б)



в)

Рис. 7

**77.** На рисунке 7, а изображён находящийся в равновесии рычаг. Останется ли он в равновесии, если к нему подвесить ещё два одинаковых груза, как показано на рисунке 7, б?

**78.** Будет ли находиться в равновесии рычаг, изображённый на рисунке 7, в?

**79.** На рисунке 8 изображён гусеничный подъёмный кран. Какой максимальный груз может поднять этот кран, если масса противовеса 1000 кг?

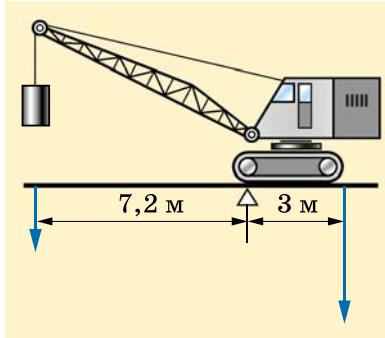


Рис. 8

**80.** Придумайте конструкцию из одного неподвижного и двух подвижных блоков, дающую выигрыш в силе в 4 раза. Сделайте соответствующий рисунок.

**81.** Вёдра с водой уравновешены на блоках, как показано на рисунке 9. В каком из этих вёдер больше воды? В какую сторону двигались бы эти вёдра, если бы в них находилось одинаковое количество воды?

**82.** В стогометателе сноп сена массой 200 кг поднимают с помощью подвижного блока. Какая сила прилагается к противоположному концу подъёмного троса? Сколько метров троса наматывается на барабан при подъёме сена на высоту 7,5 м?

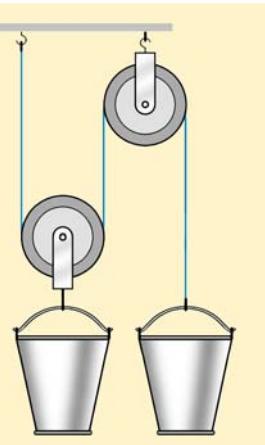


Рис. 9

83. С помощью подвижного блока человек поднял груз на высоту 1,5 м. На какую длину человек при этом вытянул верёвку?

84. При подъёме груза массой 20 кг на высоту 4 м была совершена работа 900 Дж. Чему равен КПД используемого механизма?

85. Определите работу, которую нужно совершить с помощью механизма, если его КПД 80%, а полезная работа должна составлять 1,2 кДж.

### ГЛАВА 5

86. На чём основан способ спасения человека, провалившегося под лёд, изображённый на рисунке 10?

87. Два человека вскапывают землю лопатами разной формы (рис. 11). Какой лопатой легче копать?

88. На полу стоит мальчик массой 45 кг. Какое давление он производит на пол, если общая площадь подошв обоих его ботинок, соприкасающихся с полом, равна  $300 \text{ см}^2$ ?

89. Гусеничный трактор массой 6610 кг имеет опорную площадь обеих гусениц  $1,4 \text{ м}^2$ . Определите давление этого трактора на почву. Во сколько раз оно больше давления, производимого на пол мальчиком, о котором говорилось в предыдущей задаче?

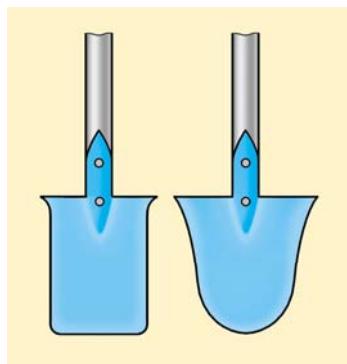


Рис. 11

(со снаряжением), если от его ботинок остались следы, площадь каждого из которых  $410 \text{ см}^2$ .

92. С какой силой оса вонзает своё жало в кожу человека, если площадь острия жала  $0,00000000003 \text{ см}^2$ , а производимое им давление составляет  $3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ ?



Рис. 10

## Задачи и упражнения

**93.** Определите давление нефти на дно цистерны, если высота столба нефти 10 м, а её плотность  $800 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

**94.** Вычислите давление воды на дно Марианской впадины, глубина которой 11 022 м. Плотность воды считать равной  $1030 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

**95.** В бочке с водой на расстоянии 40 см от её верха имеется отверстие, закрытое пробкой. Площадь отверстия  $1 \text{ см}^2$ . Чему равна сила давления воды на пробку?

**96.** В цистерне, заполненной нефтью, на глубине 4 м установлен кран. Площадь сечения крана  $30 \text{ см}^2$ . С какой силой нефть давит на кран?

**97.** Бак, имеющий форму параллелепипеда длиной 1,2 м, шириной 70 см и высотой 50 см, наполнили керосином. Определите давление и силу давления керосина на дно бака. Каково давление керосина на стенки бака на глубине 40 см?

**98.** В аквариум длиной 30 см и шириной 20 см налита вода до высоты 25 см. Определите давление и силу давления воды на дно аквариума.

**99.** В сообщающихся сосудах находятся вода и керосин (см. рис. 5.35, § 44). Чему равна высота столба керосина, если высота столба воды равна 8 см?

**100.** Когда в сообщающихся сосудах (см. рис. 5.35, § 44) керосин заменили другой жидкостью, то при высоте столба воды 4,5 см высота столба другой жидкости оказалась равной 5 см. Какой жидкостью заменили керосин?

**101.** Выразите в паскалях следующие давления: 1 мм рт. ст.; 750 мм рт. ст.

**102.** Выразите (в мм рт. ст.) следующие давления: 1 Па; 100 кПа.

**103.** На рисунке 5.48 (§ 46) изображён водяной барометр Паскаля. Чему равна высота столба воды в этом барометре при нормальном атмосферном давлении?

**104.** На рисунке 5.49 (§ 46) изображён опыт с магдебургскими полушариями. С какой примерно силой воздух прижимал одно полушарие к другому, если площадь поверхности полушария  $0,28 \text{ м}^2$ ? Атмосферное давление считать нормальным.

**105.** У подножия горы барометр показывает давление 760 мм рт. ст., а на её вершине — 722 мм рт. ст. Какова примерно высота горы?

**106.** Вычислите примерную высоту телевизионной башни в Останкино. Атмосферное давление у её подножия и у вершины определите по рисунку 12.

**107.** Вес тела в воздухе 20 Н. Определите вес этого тела в масле, если в масле на него действует выталкивающая сила 5 Н.

**108.** В воздухе тело весит 35 Н, а в керосине — 30 Н. Чему равна архимедова сила, действующая на это тело в керосине?

**109.** Тело плавает в пресной воде, полностью погрузившись в неё. Как будет вести себя это тело в керосине?

**110.** На рисунке 13 изображено одно и то же тело, плавающее в двух разных жидкостях. Плотность какой жидкости больше? Почему?

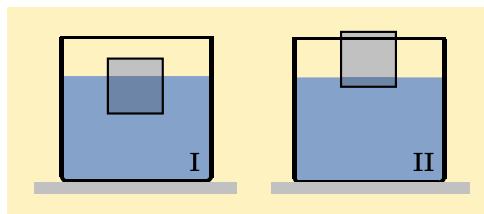


Рис. 13

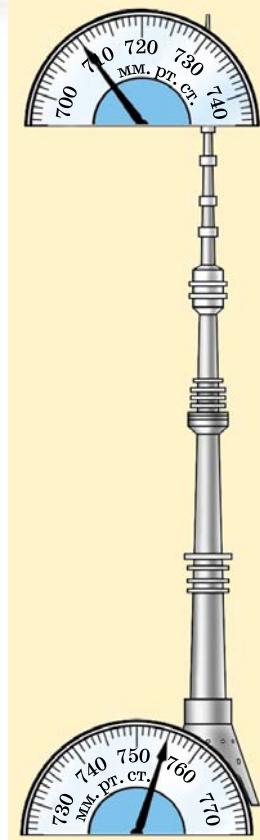


Рис. 12

**111.** На рисунке 14 изображены три бруска, плавающие в пресной воде. Определите, какой из этих брусков изготовлен из пробки, какой — из льда, какой — из дерева. Ответ обоснуйте.

**112.** Поплавок изготовлен из древесины, плотность которой в 2 раза меньше плотности воды. Как будет располагаться поплавок в воде? Сделайте рисунок.

**113.** Что больше весит в воздухе: тонна дерева или тонна железа? Почему?

**114.** Массы кирпича и куска железа одинаковы. Какое из этих тел легче удержать в воде? Почему?

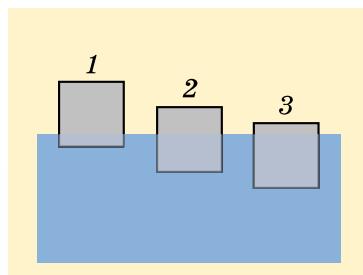


Рис. 14

## Задачи и упражнения

- 115.** Определите выталкивающую силу, действующую на камень объёмом  $1,6 \text{ м}^3$  в морской воде.
- 116.** Чему равна архимедова сила, действующая в стакане с водой на кусочек железа объёмом  $1 \text{ см}^3$ ?
- 117.** Тело объёмом  $0,6 \text{ м}^3$  плавает на поверхности воды. Какой объём имеет та часть этого тела, которая выступает над водой, если действующая на него архимедова сила равна  $5 \text{ кН}$ ?
- 118.** Тело объёмом  $0,4 \text{ м}^3$  плавает на поверхности воды. Чему равна действующая на него выталкивающая сила, если над поверхностью воды выступает  $0,1 \text{ м}^3$  этого тела?
- 119.** Сколько весит в ртути золотое изделие массой  $193 \text{ г}$ ? Плотности ртути и золота равны соответственно  $13\,600$  и  $19\,300 \text{ кг}/\text{м}^3$ .
- 120.** Тело имеет массу  $130 \text{ кг}$  и объём  $0,2 \text{ м}^3$ . Будет ли оно плавать в воде?
- 121.** Тело имеет массу  $80 \text{ кг}$  и объём  $0,1 \text{ м}^3$ . Будет ли оно плавать в бензине?
- 122.** Кусок пробки плавает в баке с керосином. Какая часть объёма пробки погружена в керосин?
- 123.** Кусок угля в воде весит  $10 \text{ Н}$ , а в керосине —  $12,5 \text{ Н}$ . Определите по этим данным плотность угля.
- 124.** Цепь выдерживает нагрузку  $85 \text{ кН}$ . Можно ли на этой цепи удержать гранитную плиту объёмом  $4 \text{ м}^3$ : а) в воздухе; б) под водой? Плотность гранита  $3000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .
- 125.** Воздушный шар имеет объём  $1600 \text{ м}^3$ . Какая подъёмная сила действует на шар в воздухе плотностью  $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (такую плотность воздух имеет на высоте  $200 \text{ м}$ ), если сила тяжести, действующая на шар, равна  $4500 \text{ Н}$ ?
- 126.** Определите подъёмную силу, действующую на шар-зонд, находящийся на высоте  $10 \text{ км}$ , если сила тяжести, действующая на него, равна  $20 \text{ Н}$ . Плотность воздуха на данной высоте  $0,41 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Объём шара  $20 \text{ м}^3$ .

# ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

## Лабораторная работа 1

### ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЁМА ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЦИЛИНДРА

*Цель работы:* измерить объём жидкости с помощью измерительного цилиндра.

*Оборудование:* измерительный цилиндр, стакан с водой.

#### Указания к выполнению работы

1. Рассмотрите измерительный цилиндр. Обратите внимание на его цену деления и применяемую единицу объёма.

2. Перелейте воду из стакана в измерительный цилиндр.

3. Изобразите на рисунке в тетради часть измерительного цилиндра с налитой в него водой (рис. Л.1). При определении положения уровня воды глаз следуют располагать на уровне того деления, которое совпадает с плоской частью поверхности воды (а не с её изогнутым краем).

4. Определите цену деления измерительного цилиндра. Для этого воспользуйтесь правилом, сформулированным в § 4:

$$\text{цена деления} = \frac{\dots - \dots}{\dots} = \dots \text{ мл.}$$

5. Зная цену деления, определите объём воды, находящейся в цилиндре:

$$V = \dots + \dots = \dots \text{ мл.}$$

6. Выразите результат измерений в кубических сантиметрах и кубических метрах.

7. Запишите вывод, ответив на вопросы: чему равен объём воды? Каким методом получен результат?

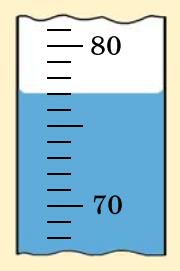


Рис. Л.1

## Лабораторная работа 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ

*Цель работы:* определить размеры малых тел.

*Оборудование:* линейка, пшено, книга, тонкая проволока, круглый карандаш.

#### Указания к выполнению работы

1. Расположите вплотную вдоль линейки  $n = 40$  кручинок пшена. Измерьте длину ряда  $l$  и вычислите диаметр  $d$  одной кручинки:

$$d = \frac{l}{n}.$$

## Лабораторные работы

2. Определите аналогичным способом толщину листа книги. Для этого плотно сожмите книгу и измерьте её толщину  $l$  (без учёта обложки). Разделив толщину  $l$  на число листов в книге  $n$ , найдите толщину одного листа  $d$ .

3. Определите диаметр тонкой проволоки. Для этого намотайте на карандаш вплотную 50 витков проволоки и измерьте длину навивки  $l$ .

4. Используя фотографию атомов золота, полученную с помощью электронного микроскопа (рис. Л.2), определите диаметр одного атома.

5. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

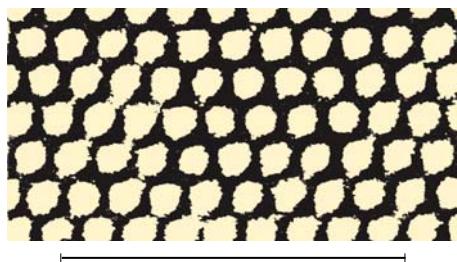


Рис. Л.2

| Малые тела      | $l$ , см | $n$ | $d$ , см |
|-----------------|----------|-----|----------|
| Пшено           |          |     |          |
| Листы бумаги    |          |     |          |
| Витки проволоки |          |     |          |
| Атомы золота    |          |     |          |

6. Запишите вывод, ответив на вопросы: чему равны диаметр частички пшена, толщина страницы книги, диаметр тонкой проволоки, диаметр атома? Каким методом получены результаты?

## Лабораторная работа 3

### ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА НА РЫЧАЖНЫХ ВЕСАХ

*Цель работы:* измерить массу тела на рычажных весах.

*Оборудование:* весы с разновесами, несколько небольших тел разной массы (по выбору учащихся).

#### *Указания к выполнению работы*

1. Если весы не уравновешены, добейтесь их равновесия, положив на более лёгкую чашу весов несколько кусочков бумаги.

2. Поместите на левую чашу весов взвешиваемый предмет (кладя его нужно осторожно, придерживая чаши весов рукой).

3. Откройте футляр с гирями и, достав ту, что, на ваш взгляд, тяжелее предмета, положите её на правую чашу. Убедившись, что она перетягивает, положите её обратно в футляр, а на чашу положите другую гирю (меньшей массы). Если она тоже перетянет, то замените её следу-

ищей гирей, если же нет — оставьте на правой чаше. Перебирая таким образом гирю за гирей, добейтесь равновесия весов. Мелкие гирьки (от 500 до 10 мг) доставайте из футляра с помощью пинцета.

4. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Заполните таблицу.

| Взвешиваемый предмет | Массы гирь, которыми был уравновешен предмет | Масса предмета в граммах |
|----------------------|--|--------------------------|
|                      |  |                          |

Во второй колонке этой таблицы должны быть приведены массы всех гирь, оказавшихся на правой чаше весов после достижения равновесия. Определив их общую массу, запишите результат в третью колонку.

5. Придерживая чаши весов, снимите с них все гири и положите их обратно в футляр.

6. Замените предмет на левой чаше весов другим и повторите всю процедуру взвешивания заново. Полученные результаты занесите в таблицу.

7. Запишите вывод, ответив на вопросы: чему равны массы тел? Каким методом получен результат?

## Лабораторная работа 4

### ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЁМА ТЕЛА

*Цель работы:* определить объём твёрдого тела с помощью измерительного цилиндра.

*Оборудование:* измерительный цилиндр, твёрдое тело (металлический шарик или цилиндр), нить.

#### Указания к выполнению работы

1. Определите цену деления измерительного цилиндра (рис. Л.3, а).

2. Налейте в измерительный цилиндр воду и определите начальный объём  $V_1$  жидкости. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Запишите в таблицу значение объёма налитой воды.

3. Опустите тело, объём которого нужно определить, в воду, удерживая его за нить (рис. Л.3, б). Измерьте объём  $V_2$  жидкости и тела. Результат запишите в таблицу.

4. Рассчитайте объём тела:  $V = V_2 - V_1$ .

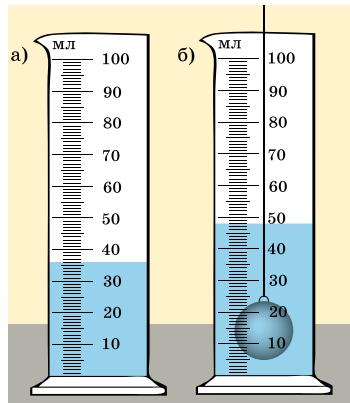


Рис. Л.3

## Лабораторные работы

5. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу. В каком интервале находится значение объёма тела?

| Тело | $V_1$ , см <sup>3</sup> | $V_2$ , см <sup>3</sup> | $V$ , см <sup>3</sup> |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
|      |                         |                         |                       |

## Лабораторная работа 5

### ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

*Цель работы:* измерить плотность твёрдого тела.

*Оборудование:* весы с разновесами, измерительный цилиндр с водой, твёрдое тело на нити.

#### *Указания к выполнению работы*

1. Измерьте массу тела ( $m$ ) на рычажных весах (см. лабораторную работу 3).
2. Определите цену деления измерительного цилиндра.
3. Измерьте объём воды в цилиндре ( $V_1$ ).
4. Удерживая тело за нить, опустите его в воду. Измерьте объём воды вместе с погруженным в неё телом ( $V_2$ ).
5. Определите объём тела ( $V$ ).
6. Зная массу и объём тела, рассчитайте его плотность ( $\rho$ ).
7. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

| $m$ , г | $V_1$ , см <sup>3</sup> | $V_2$ , см <sup>3</sup> | $V$ , см <sup>3</sup> | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> |
|---------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
|         |                         |                         |                       |                            |

8. Запишите вывод, ответив на вопросы: чему равна плотность твёрдого тела? Каким методом получен результат?

9. Сопоставив внешний вид исследуемого тела (цвет, блеск и пр.) с полученным значением плотности и воспользовавшись таблицей плотностей, предположите, из какого вещества состоит тело.

## Лабораторная работа 6

### ГРАДУИРОВКА ДИНАМОМЕТРА

*Цель работы:* провести градуировку динамометра и измерить с его помощью вес тела.

*Оборудование:* набор грузов по механике, динамометр лабораторный, штатив с держателем, линейка, небольшие грузы.

**Указания к выполнению работы**

Простейший пружинный динамометр (динамометр Бакушинского) состоит из пружины с двумя крючками, укреплённой на дощечке. Дощечка снабжена шкалой, а к нижнему концу пружины прикреплён указатель. Такой динамометр можно изготовить самостоятельно.

1. С помощью скотча закройте листом бумаги шкалу лабораторного динамометра и закрепите его вертикально в лапке лабораторного штатива. Отметьте чертой положение указателя при нерастянутой пружине и поставьте возле неё отметку «0». Это будет нулевая отметка шкалы.

2. Так как сила тяжести, действующая на тело массой 1 кг, равна 9,8 Н, то сила, равная 1 Н, будет действовать на тело, которое в 9,8 раза легче. Масса этого тела 102 г. Этим телом может являться груз массой 100 г с колечком из проволоки, масса которого приблизительно равна 2 г.

3. Из набора грузов выберите груз массой 102 г и подвесьте его к динамометру. Под действием силы тяжести, действующей на груз и равной 1 Н, пружина растягивается и указатель опускается вниз. Отметьте чертой новое положение указателя динамометра.

4. Последовательно подвесьте к динамометру два, три, четыре груза, массой по 102 г каждый, и всякий раз отмечайте новое положение указателя динамометра.

5. Сняв динамометр со штатива, проставьте по порядку значения 1, 2, 3, 4 Н возле каждой отметки.

6. С помощью линейки проградуируйте шкалу динамометра так, чтобы цена деления была равна 0,1 Н. Для этого каждое полученное деление нужно разделить на 10 равных частей. Это возможно сделать в соответствии с законом Гука, из которого следует, что сила упругости пружины увеличивается во столько раз, во сколько раз увеличивается её удлинение. (Такая зависимость называется линейной.)

7. С помощью динамометра измерьте вес небольших грузов, подобранных для лабораторной работы. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Данные измерений занесите в таблицу.

| Исследуемое тело |  | Вес тела, Н |
|------------------|--|-------------|
| 1                |  |             |
| 2                |  |             |
| 3                |  |             |

**Лабораторная работа 7**

**ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМОМЕТРА**

*Цель работы:* измерить с помощью динамометра силы трения скольжения, покоя и качения и сравнить измеренные силы.

*Оборудование:* динамометр, деревянный брускок, набор грузов, деревянная дощечка, катки (круглые карандаши).

**Указания к выполнению работы**

1. Прикрепив к вертикально расположенному динамометру деревянный брускок, измерьте силу тяжести тела ( $F_g$ ) и его вес ( $P_0$ ).
2. Измерьте общий вес бруска с прикреплённым к нему грузом ( $P$ ).
3. Положите на деревянную дощечку брускок, а на брускок груз. Прикрепив к брускому динамометр, перемещайте его с постоянной скоростью вдоль дощечки (рис. Л.4). Измерьте силу трения скольжения, действующую на брускок ( $F_{tp}$ ), и сравните её с весом  $P$ .
4. Используя динамометр, измерьте максимальную силу трения покоя ( $F_{tp0}$ ), возникающую при попытке сдвинуть с места нагруженный брускок. Сравните эту силу с силой трения скольжения.
5. Поместив нагруженный брускок на два катка, убедитесь, что сила трения качения меньше измеренной ранее силы трения скольжения.
6. Запишите вывод, ответив на вопросы:
  - 1) Чему равны силы трения покоя, скольжения, качения?
  - 2) Каким методом получен результат?
  - 3) Что можно сказать о числовых значениях силы трения покоя и силы трения скольжения?
  - 4) Что можно сказать о числовых значениях силы трения скольжения и силы трения качения?

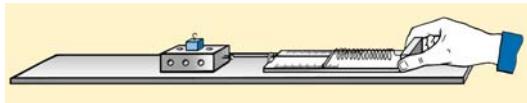


Рис. Л.4

**Лабораторная работа 8**

**ВЫЯСНЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА**

*Цель работы:* установить, при каком условии рычаг находится в равновесии.

*Оборудование:* рычаг на штативе, набор грузов, линейка (рис. Л.5).

**Указания к выполнению работы**

1. Путём вращения гаек на концах рычага уравновесьте его так, чтобы он расположился горизонтально.

2. Подвесьте два груза к левому плечу рычага на расстоянии  $l_1 = 18$  см от оси вращения.

3. Путём проб установите место на правом плече рычага, к которому следует подвесить три груза, чтобы уравновесить два предыдущих. Измерьте расстояние от этого места до оси вращения ( $l_2$ ).

4. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Считая, что каждый груз весит 1 Н, заполните таблицу.

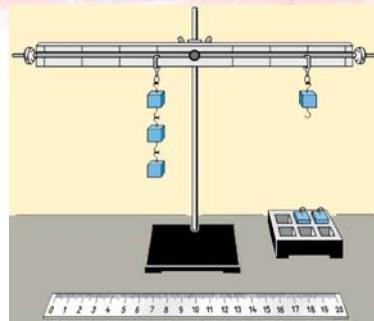


Рис. Л.5

| $l_1$ , м | $F_1$ , Н | $l_2$ , м | $F_2$ , Н | $M_1$ , Н · м | $M_2$ , Н · м |
|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|
|           |           |           |           |               |               |

5. Сделайте вывод о справедливости правила моментов.

6. Запишите вывод, ответив на вопрос: при каком условии рычаг находится в равновесии?

### Лабораторная работа 9

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

*Цель работы:* определить коэффициент полезного действия наклонной плоскости.

*Оборудование:* динамометр, дощечка, штатив, деревянный брускок, измерительная лента (или линейка), набор грузов (рис. Л.6).

*Указания к выполнению работы*

1. Используя динамометр, определите общий вес бруска вместе с двумя грузами ( $P$ ).

2. Установите дощечку в наклонном положении, закрепив её верхний край в лапке штатива.

3. Нагрузив брускок двумя грузами и прикрепив к нему динамометр, перемещайте брускок с постоянной скоростью вверх по наклонной плоскости. Измерьте необходимую для этого силу тяги ( $F$ ).

4. С помощью измерительной ленты определите путь  $s$ , пройденный нижним краем груза, и высоту  $h$ , на которую он был поднят.

5. Вычислите полезную работу и полную совершённую работу:

$$A_c = Fs, \quad A_{\pi} = Ph.$$

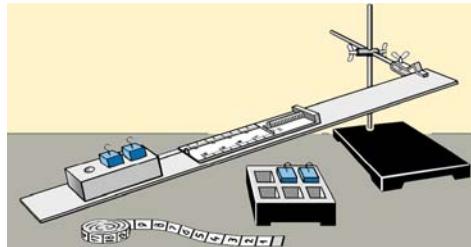


Рис. Л.6

## Лабораторные работы

6. Найдите КПД наклонной плоскости.
7. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

| $P$ , Н | $h$ , м | $A_{\text{п}}$ , Дж | $F$ , Н | $s$ , м | $A_{\text{с}}$ , Дж | $\eta$ |
|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------------------|--------|
|         |         |                     |         |         |                     |        |

8. Запишите вывод, ответив на вопросы:
- 1) Какая работа больше — полная (совершённая) или полезная?
  - 2) Почему именно таково соотношение между полной работой и полезной работой?
  - 3) Чему равен коэффициент полезного действия наклонной плоскости?

## Лабораторная работа 10

### ИЗМЕРЕНИЕ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ (АРХИМЕДОВОЙ) СИЛЫ

*Цель работы:* измерить выталкивающую силу и установить, как выталкивающая сила зависит от объёма погруженной части тела.

*Оборудование:* динамометр, измерительный цилиндр с водой, твёрдое тело (латунный цилиндр).

#### *Указания к выполнению работы*

1. Измерьте с помощью динамометра вес тела в воздухе ( $P_0$ ).
2. Погрузив тело в измерительный цилиндр с водой, измерьте вес тела в жидкости ( $P$ ).
3. Определите выталкивающую силу, действующую на тело в воде.
4. Повторите опыт, погрузив тело в воду наполовину. Снова определите выталкивающую силу.
5. Перенесите таблицу в свою тетрадь. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

| № п/п | $P_0$ , Н | $P$ , Н | $F_A$ , Н |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 1     |           |         |           |
| 2     |           |         |           |

- 1) Чему равна выталкивающая сила, действующая на тело, полностью погруженное в воду?
- 2) Чему равна выталкивающая сила, действующая на тело, частично погруженное в воду?
- 3) Как зависит выталкивающая сила от объёма погруженной части тела?

# ПРИЛОЖЕНИЕ

*Таблицы*

## Плотности некоторых твёрдых тел<sup>1</sup>

| Твёрдое тело  | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ | Твёрдое тело   | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ |
|---------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Оsmий         | 22 600                               | 22,6                                 | Стекло оконное | 2500                                 | 2,5                                  |
| Иридий        | 22 400                               | 22,4                                 | Фарфор         | 2300                                 | 2,3                                  |
| Платина       | 21 500                               | 21,5                                 | Бетон          | 2300                                 | 2,3                                  |
| Золото        | 19 300                               | 19,3                                 | Кирпич         | 1800                                 | 1,8                                  |
| Свинец        | 11 300                               | 11,3                                 | Сахар-рафинад  | 1600                                 | 1,6                                  |
| Серебро       | 10 500                               | 10,5                                 | Оргстекло      | 1200                                 | 1,2                                  |
| Медь          | 8900                                 | 8,9                                  | Капрон         | 1100                                 | 1,1                                  |
| Латунь        | 8500                                 | 8,5                                  | Полиэтилен     | 920                                  | 0,92                                 |
| Сталь, железо | 7800                                 | 7,8                                  | Парафин        | 900                                  | 0,90                                 |
| Олово         | 7300                                 | 7,3                                  | Лёд            | 900                                  | 0,90                                 |
| Цинк          | 7100                                 | 7,1                                  | Дуб (сухой)    | 700                                  | 0,70                                 |
| Чугун         | 7000                                 | 7,0                                  | Сосна (сухая)  | 400                                  | 0,40                                 |
| Корунд        | 4000                                 | 4,0                                  | Пробка         | 240                                  | 0,24                                 |
| Алюминий      | 2700                                 | 2,7                                  |                |                                      |                                      |
| Мрамор        | 2700                                 | 2,7                                  |                |                                      |                                      |

## Плотности некоторых жидкостей

| Жидкость           | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Ртуть              | 13 600                               | 13,60                                |
| Серная кислота     | 1800                                 | 1,80                                 |
| Мёд                | 1350                                 | 1,35                                 |
| Вода морская       | 1030                                 | 1,03                                 |
| Молоко цельное     | 1030                                 | 1,03                                 |
| Вода чистая        | 1000                                 | 1,00                                 |
| Масло подсолнечное | 930                                  | 0,93                                 |

<sup>1</sup> Плотности тел, указанные в таблицах, вычислены при нормальном атмосферном давлении и при температуре для газов 0 °C, для жидкостей и твёрдых тел 20 °C.

| Жидкость                                      | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Масло машинное                                | 900                                  | 0,90                                 |
| Керосин                                       | 800                                  | 0,80                                 |
| Спирт   | 800                                  | 0,80                                 |
| Нефть   | 800                                  | 0,80                                 |
| Ацетон  | 790                                  | 0,79                                 |
| Эфир  | 710                                  | 0,71                                 |
| Бензин  | 710                                  | 0,71                                 |
| Жидкое олово (при $t = 400^\circ\text{C}$ )   | 6800                                 | 6,80                                 |
| Жидкий воздух (при $t = -194^\circ\text{C}$ ) | 860                                  | 0,86                                 |

## Плотности некоторых газов

| Газ  | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Хлор                                       | 3,210                                | 0,00321                              |
| Оксид углерода(IV) (углекислый газ)        | 1,980                                | 0,00198                              |
| Кислород                                   | 1,430                                | 0,00143                              |
| Воздух (при $0^\circ\text{C}$ )            | 1,290                                | 0,00129                              |
| Азот                                       | 1,250                                | 0,00125                              |
| Оксид углерода(II)                         | 1,250                                | 0,00125                              |
| Природный газ                              | 0,800                                | 0,0008                               |
| Водяной пар (при $t = 100^\circ\text{C}$ ) | 0,590                                | 0,00059                              |
| Гелий                                      | 0,180                                | 0,00018                              |
| Водород                                    | 0,090                                | 0,00009                              |

## ОТВЕТЫ

13. В 1,55 раза. 14. В 3 раза. 15. 11,1 м/с. 16. 2340 км. 17. 200 м. 18. 8,3 мин. 19. 500 с. 20. 4,8 м/с. 22. 14 м/с<sup>2</sup>. 33. 675 г. 34. 1,5 кг. 35. 178 г. 36. 28 кг. 37. 20 см<sup>3</sup>. 38. 500 см<sup>3</sup>. 40. 120. 41. 0,92 г/см<sup>3</sup>. 42. 0,4 Н. 43. 0,5 Н. 44. 50 Н/м. 45. 20 см. 46. 240 г. 49. 7 Н. 54. 5,4 Н. 56. -2 Дж. 57. 40 Дж. 58. -1,5 Дж. 59. 32 Дж. 60. 300 кДж. 61. 120 мДж. 62. 12 кВт. 63. 2,9 кВт. 64. 3,2 кДж. 65. 57,4 Дж. 66. 5 м. 67. 20 Дж. 70. 550 Дж. 71. 300 Дж. 72. 18 Дж. 73. 4464 Дж. 74. 6 м. 75. 1,8 м. 76. 80 м. 79. 416 кг. 82. 1 кН; 15 м. 84. 89%. 85. 1,5 кДж. 88. 15 кПа. 89. 47,2 кПа. 90. 1,5 кПа. 91. 175 кг. 92. 9 мкН. 93. 80 кПа. 94. 113,5 МПа. 95. 0,4 Н. 96. 96 Н. 97. 4 кПа; 3,36 кН; 3,2 кПа. 98. 2,5 кПа; 150 Н. 99. 10 см. 103. 10,3 м. 104. 28,4 кН. 105. 456 м. 106. 540 м. 107. 15 Н. 108. 5 Н. 113. Тонна железа. 115. ≈16 кН. 116. 10 мН. 117. 0,1 м<sup>3</sup>. 118. 3 кН. 122. 0,3. 123. 1800 кг/м<sup>3</sup>. 125. 14,7 кН. 126. 62 Н.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| § 1. Что изучает физика .....                 | 5  |
| § 2. Некоторые физические термины .....       | 8  |
| § 3. Наблюдения и опыты .....                 | 10 |
| § 4. Физические величины и их измерение ..... | 12 |
| Повторим пройденное.....                      | 16 |

## ГЛАВА 2. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

|   |    |
|---|----|
| § 5. Строение вещества .....                        | 17 |
| § 6. Молекулы и атомы .....                         | 20 |
| § 7. Броуновское движение. Диффузия .....           | 23 |
| § 8. Взаимодействие молекул.....                    | 27 |
| § 9. Смачивание и капиллярность .....               | 29 |
| § 10. Агрегатные состояния вещества .....           | 33 |
| § 11. Строение твёрдых тел, жидкостей и газов ..... | 36 |
| Повторим пройденное.....                            | 39 |

## ГЛАВА 3. ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

|  |    |
|--|----|
| § 12. Механическое движение.....       | 40 |
| § 13. Скорость .....                   | 44 |
| § 14. Средняя скорость.....            | 50 |
| § 15. Ускорение .....                  | 52 |
| § 16. Инерция.....                     | 55 |
| § 17. Взаимодействие тел. Масса .....  | 61 |
| § 18. Плотность вещества .....         | 65 |
| § 19. Расчёт массы и объёма тела ..... | 68 |
| § 20. Сила .....                       | 71 |
| § 21. Сила тяжести .....               | 74 |
| § 22. Равнодействующая сила .....      | 78 |
| § 23. Сила упругости. Закон Гука ..... | 81 |
| § 24. Динамометр. Вес тела.....        | 85 |
| § 25. Сила трения .....                | 90 |
| § 26. Трение в природе и технике ..... | 94 |
| Повторим пройденное.....               | 97 |

## ГЛАВА 4. РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| § 27. Механическая работа ..... | 99  |
| § 28. Мощность.....             | 103 |
| § 29. Энергия.....              | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| § 30. Закон сохранения энергии .....                      | 110 |
| § 31. Использование энергии движущейся воды и ветра ..... | 113 |
| § 32. Рычаг .....   | 116 |
| § 33. Момент силы. Правило моментов.....                  | 120 |
| § 34. Блок .....  | 123 |
| § 35. Другие механизмы .....                              | 126 |
| § 36. Коэффициент полезного действия .....                | 130 |
| Повторим пройденное.....                                  | 135 |

## ГЛАВА 5. ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

|   |     |
|---|-----|
| § 37. Давление.....   | 136 |
| § 38. Давление в природе и технике .....                                    | 139 |
| § 39. Давление газа .....   | 142 |
| § 40. Применение сжатого воздуха .....                                      | 146 |
| § 41. Закон Паскаля .....   | 149 |
| § 42. Гидростатическое давление.....  | 151 |
| § 43. Давление на дне морей и океанов.<br>Исследование морских глубин ..... | 154 |
| § 44. Сообщающиеся сосуды .....   | 157 |
| § 45. Атмосфера и атмосферное давление.....                                 | 161 |
| § 46. Измерение атмосферного давления.<br>Опыт Торричелли.....              | 165 |
| § 47. Барометр-анероид.....   | 170 |
| § 48. Манометры .....   | 172 |
| § 49. Водопровод. Поршневой жидкостный насос .....                          | 174 |
| § 50. Гидравлический пресс.....   | 176 |
| § 51. Действие жидкости и газа на погруженное в них тело                    | 179 |
| § 52. Закон Архимеда .....  | 183 |
| § 53. Плавание тел .....  | 187 |
| § 54. Плавание животных и человека.....                                     | 190 |
| § 55. Плавание судов .....  | 193 |
| § 56. Воздухоплавание.....  | 197 |
| Повторим пройденное.....  | 201 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| <b>ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ .....</b> | <b>202</b> |
| <b>ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....</b> | <b>213</b> |

|                  |     |
|------------------|-----|
| Приложение ..... | 221 |
| Ответы .....     | 222 |

Учебное издание

*Серия «Классический курс»*

Громов Сергей Васильевич  
Родина Надежда Александровна  
Белага Виктория Владимировна  
Ломаченков Иван Алексеевич  
Панебратцев Юрий Анатольевич

**ФИЗИКА**  
**7 класс**  
Учебник

Центр физики и астрономии  
Ответственный за выпуск Е. А. Гришкина  
Редактор Т. П. Каткова  
Художественный редактор Т. В. Глушкова  
Компьютерная вёрстка А. Б. Филатова  
Корректоры Е. В. Пушкина, В. С. Хомякова

Подписано в печать 11.01.2022. Формат 70 × 90/16. Гарнитура SchoolBook.  
Усл. печ. л. 16,38. Уч.-изд. л. 12,28. Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».  
Российская Федерация, 127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3,  
этаж 4, помещение I.

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