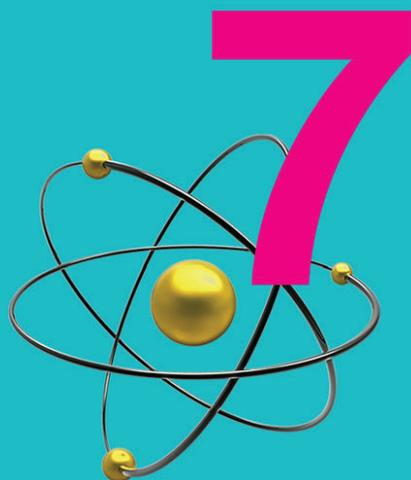


Л. А. Исаченкова  
Е. В. Громько  
Ю. Д. Лещинский

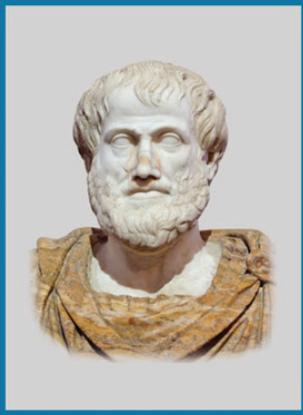


# ФИЗИКА



## АРИСТОТЕЛЬ

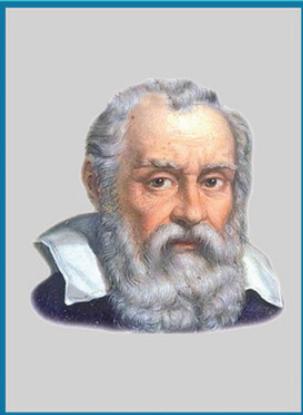
(384—322 до н.э.)



Древнегреческий философ и ученый. Считал, что первичные качества материи — две пары противоположностей: «теплое — холодное» и «сухое — влажное». Соединению «холодного с сухим» соответствует земля, «холодного с влажным» — вода, «теплого с влажным» — воздух, «теплого с сухим» — огонь.

## ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

(1564—1642)



Итальянский физик и астроном. От него берет начало физика как наука. Доказал постоянство ускорения силы тяжести. Установил закон инерции. В 1609 г. построил свою первую подзорную трубу (телескоп). Изобрел термоскоп (прообраз термометра), сконструировал гидростатические весы и др.

## ЭВАНДЖЕЛИСТА ТОРРИЧЕЛЛИ

(1608—1647)



Итальянский физик и математик. В 1643 г. открыл существование атмосферного давления. Изобрел ртутный барометр. Сформулировал закон вытекания жидкости из отверстий сосуда и вывел формулу скорости вытекания.

## БЛЕЗ ПАСКАЛЬ

(1623—1662)

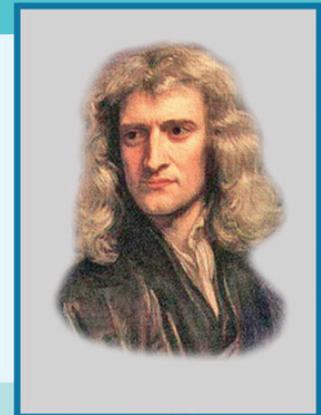
Французский математик, физик и философ. Открыл основной закон гидростатики (закон Паскаля), подтвердил существование атмосферного давления, его зависимость от высоты. Доказал, что воздух имеет вес.



## ИСААК НЬЮТОН

(1643—1727)

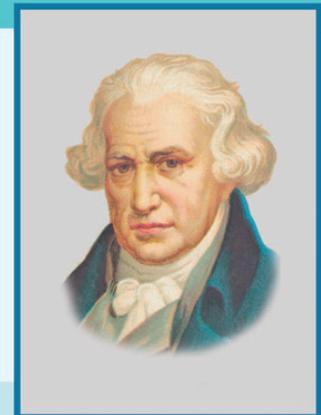
Английский ученый. Работал в области физики, математики, астрономии. Открыл закон всемирного тяготения и сформулировал основные законы механики. Много работ посвятил изучению трения. Создал физическую картину мира. Известен своими открытиями в оптике.



## ДЖЕЙМС УАТТ

(1736—1819)

Шотландский изобретатель, создатель парового двигателя. Сконструировал ряд приборов: ртутный манометр, вакуумметр, индикатор давления и др. Ввел первую единицу мощности — лошадиную силу.



# ОСНОВНЫЕ, КРАТНЫЕ И ДОЛ

## Длина ( $l$ )

### Метр (м)

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$$

$$1 \text{ дм} = 0,1 \text{ м}$$

$$1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$$

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$$

$$1 \text{ мкм} = 0,000\ 001 \text{ м}$$

## Масса ( $m$ )

### Килограмм (кг)

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$$

$$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг}$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}$$

$$1 \text{ мг} = 0,000\ 001 \text{ кг}$$

## Время ( $t$ )

### Секунда (с)

$$1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$$

$$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$$

# ПЛОЩАДЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

## Площадь ( $S = ab$ )

### Квадратный метр ( $\text{м}^2$ )

$$1 \text{ км}^2 = 1\,000\,000 \text{ м}^2$$

$$1 \text{ дм}^2 = 0,01 \text{ м}^2$$

$$1 \text{ см}^2 = 0,0001 \text{ м}^2$$

$$1 \text{ мм}^2 = 0,000\,001 \text{ м}^2$$

## Объем ( $V = Sh$ )

### Кубический метр ( $\text{м}^3$ )

$$1 \text{ км}^3 = 1\,000\,000\,000 \text{ м}^3$$

$$1 \text{ дм}^3 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$1 \text{ см}^3 = 0,000\,001 \text{ м}^3$$

$$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л} = 1 \text{ см}^3$$

Л. А. Исаченкова Е. В. Громыко Ю. Д. Лещинский

# ФИЗИКА

Учебник для 7 класса  
учреждений общего среднего образования  
с русским языком обучения

Под редакцией *Л. А. Исаченковой*

*Утверждено  
Министерством образования  
Республики Беларусь*

2-е издание,  
пересмотренное и дополненное

Минск «Народная асвета» 2022

Правообладатель Народная асвета

УДК 53(07813=161.1)  
ББК 22.3я721  
ИЗО

#### Рецензент

кафедра физики и методики преподавания физики учреждения образования  
«Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»  
(кандидат физико-математических наук, доцент *О. Н. Белая*)

#### Рекомендации по считыванию QR-кодов

QR-коды можно считывать с помощью гаджета — смартфона или планшета. Чтобы установить сканер для считывания QR-кодов на гаджет, нужно:

1) Открыть приложение Play Маркет  (для устройств с ОС Android) или приложение App Store  (для устройств с iOS). Набрать в поисковой строке: *Сканер QR-кодов*.

2) Выбрать одно из предложенных приложений: например, *Сканер QR и штрих-кодов* . Нажать кнопки *Установить* → *Открыть*.

Программа готова к использованию. Наведите камеру на QR-код. Сканер считывает его и предложит перейти по ссылке, которая откроется в браузере при наличии интернет-соединения (во время загрузки видеороликов скачивается большой объем информации, поэтому выходить в Интернет лучше через Wi-Fi).

ISBN 978-985-03-3804-4

© Исаченкова Л. А., Лещинский Ю. Д., 2017  
© Исаченкова Л. А., Громько Е. В.,  
Лещинский Ю. Д., 2022, с изменениями  
© Оформление. УП «Народная асвета», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

От авторов .....	4	§ 24. Вес тела .....	85
<b>Глава 1. Физические методы познания природы</b>		§ 25. Единица силы. Измерение силы. Динамометр .....	87
§ 1. Физика — наука о природе. Связь физики с другими науками. Физика и техника .....	6	§ 26. Сложение сил. Равнодействующая сила .....	91
§ 2. Физическое тело, физическое явление, физическая величина .....	8	§ 27. Трение. Сила трения .....	95
§ 3. Методы исследования в физике ...	11	<b>Глава 4. Давление</b>	
§ 4. Роль измерений в физике. Прямые и косвенные измерения .....	14	§ 28. Давление. Единицы давления ....	100
§ 5. Единицы измерения физических величин. Международная система единиц (СИ) .....	18	§ 29. Давление газа .....	105
§ 6. Действия над физическими величинами .....	21	§ 30. Передача давления газами и жидкостями. Закон Паскаля .....	108
§ 7. Измерительные приборы. Цена деления. Погрешность измерения .....	24	§ 31. Давление жидкости, обусловленное ее весом .....	110
<b>Глава 2. Строение вещества</b>		§ 32. Сообщающиеся сосуды .....	114
§ 8. Дискретное строение вещества ....	30	§ 33. Газы и их вес .....	119
§ 9. Тепловое движение частиц .....	34	§ 34. Атмосферное давление .....	121
§ 10. Взаимодействие частиц вещества .....	37	§ 35. Измерение атмосферного давления. Барометры и манометры .....	126
§ 11. Газообразное, жидкое и твердое состояния вещества .....	40	<b>Глава 5. Работа. Мощность. Энергия</b>	
§ 12. Тепловое расширение .....	43	§ 36. Механическая работа. Единицы работы .....	132
§ 13. Температура. Измерение температуры. Термометры .....	46	§ 37. Полезная и совершенная работа. Коэффициент полезного действия .....	136
<b>Глава 3. Движение и силы</b>		§ 38. Мощность. Единицы мощности ...	140
§ 14. Механическое движение. Относительность покоя и движения .....	50	§ 39. Кинетическая энергия .....	144
§ 15. Траектория, путь, время. Единицы пути и времени .....	52	§ 40. Потенциальная энергия .....	147
§ 16. Равномерное движение. Скорость. Единицы скорости .....	55	§ 41. Расчет потенциальной энергии ...	149
§ 17. Графики пути и скорости при равномерном прямолинейном движении ...	59	§ 42. Закон сохранения механической энергии .....	153
§ 18. Неравномерное (переменное) движение. Средняя скорость .....	64	<b>Глава 6. Лабораторный эксперимент</b>	
§ 19. Почему изменяется скорость движения тела. Инерция .....	68	Лабораторная работа № 1. Определение цены деления шкалы измерительного прибора .....	158
§ 20. Масса тела. Плотность вещества. Единицы плотности .....	71	Лабораторная работа № 2. Измерение длины .....	159
§ 21. Сила .....	76	Лабораторная работа № 3. Измерение объема .....	160
§ 22. Явление тяготения. Сила тяжести .....	79	Лабораторная работа № 4. Изучение неравномерного движения .....	162
§ 23. Сила упругости .....	82	Лабораторная работа № 5. Измерение плотности .....	163
		Лабораторная работа № 6. Изучение силы трения .....	165
		Ответы к упражнениям .....	166
		Предметный указатель .....	167
		Список использованной литературы .....	—

## Дорогие семиклассники!

В этом учебном году вам предстоит взойти на первую ступеньку научной лестницы, которая называется «физика». Изучая физику, вы познакомитесь со множеством интересных явлений, происходящих вокруг вас. Сможете объяснить, как работают различные машины и механизмы; почему температура воды у дна водоема в самый сильный мороз +3—4 градуса; почему по мобильному устройству можно с любого места пообщаться с родителями и друзьями.

Изучая физику, вы познакомитесь с различными измерительными приборами, единицами измерения. Научитесь самостоятельно выполнять измерения и оценивать их погрешность. В дальнейшем эти умения понадобятся вам при изучении не только физики, но и других предметов.

Учебник состоит из глав, а главы — из параграфов. Каждая глава начинается с иллюстрированной страницы. На ней приведены вопросы, ответы на которые вы получите, изучив данную главу. В тексте некоторых параграфов имеются задания. Выполняйте их. Внимательно читайте описания опытов. Опыты, возле которых стоит QR-код, можно «оживить». Серьезно относитесь к главным выводам, которые определяют основное в содержании параграфа. Для проверки понимания материала в конце параграфов предусмотрены контрольные вопросы. Старайтесь дать ответ на каждый из них. Иногда для этого потребуется использовать дополнительную литературу или Интернет.

Учебник содержит практическую часть — домашние задания и упражнения. Наиболее сложные задачи и контрольные вопросы отмечены знаком



В конце каждой главы приведены темы проектных заданий.

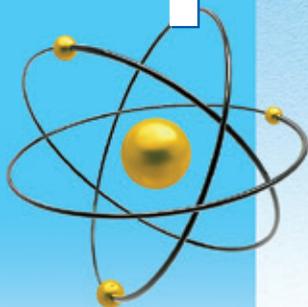
В некоторых параграфах содержится материал для любознательных. Он может быть изучен по желанию.

В создании учебника принимал участие большой коллектив специалистов. Цените труд и старания всех, кто работал над книгой, — берегите ее!

Желаем вам творчества и успехов при изучении физики.



# 1



## Физические методы познания природы

- Зачем нужно изучать физику?
- Каков путь познания окружающего мира?
- Как с меньшей погрешностью измерить физическую величину?
- Как складывать, вычитать, умножать и делить физические величины?





## § 1.

# Физика — наука о природе. Связь физики с другими науками. Физика и техника



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Раньше люди ездили на тарантасах, запряженных лошадьми, жали серпами рожь, проводили вечера при свете лучин. А в сказках мечтали о ковре-самолете, топоре-саморубе и многих других чудесах. Стала ли сказка былью? Да. Сегодня люди летают на самолетах (рис. 1). Комбайны жнут рожь (рис. 2). Электропилы в считанные минуты спиливают деревья. Энергосберегающие лампы освещают помещения. Разработаны современные радиолокационные установки (рис. 3). Мобильная связь расширила возможности общения людей друг с другом. Ракеты выводят на орбиту искусственные спутники Земли. Человек достиг космоса.

Все это стало возможным благодаря достижениям различных наук, одной из которых является физика.

Слово «физика» в переводе с греческого означает «природа». **Физика — наука о природе.** Природа — это вода, земля, воздух, животный и растительный мир и все, что нас окружает. Человек тоже является частью природы. Но происходящее в природе изучают и такие науки, как биология, биофизика, химия, астрономия, астрофизика, география, геология и др. Могут ли эти науки обойтись без физики? Нет, конечно. Например, на уроках биологии вы работаете с микроскопом (рис. 4). Его устройство и принцип действия основаны на законах физики.

Но и другие науки помогают физике. Например, математика. С ее помощью описываются физические явления и законы. Математика позволяет установить связи между физическими величинами и представить их в виде формул и графиков.

Физика, являясь фундаментом техники, развивает ее. А техника создает приборы, позволяющие физике проникать в неразгаданные тайны природы, открывать новые явления.

Какими бы умными ни были приборы, главное в развитии физики — это гениальность и упор-

ный труд ученых. В процессе изучения предмета вы познакомитесь с именами и вкладом в физику многих выдающихся ученых, в том числе и белорусских.

Знания, полученные при изучении физики, пригодятся вам в повседневной жизни, способствуют развитию ваших интеллектуальных способностей. Они сформируют у вас научное представление об окружающем мире и помогут при выборе будущей профессии.



Рис. 4

### ■ Главные выводы

1. Физика — наука о природе.
2. Физика развивает технику.
3. Физика помогает человеку жить в окружающем мире безопасно и комфортно.

### ▼ Для любознательных

До XIX в. не существовало самостоятельной профессии «физик». Физикой занимались врачи, математики, инженеры, философы и др.

Физика раскрыла перед человеком многие тайны окружающего мира. В настоящее время интересы ученых, занимающихся этой наукой, выходят далеко за пределы Земли. Физики стремятся установить законы, на основе которых устроена Вселенная; найти планеты, пригодные для жизни.

### ? Контрольные вопросы

1. Что означает слово «физика»?
2. Для чего необходимо изучать физику?
3. Как влияют друг на друга физика и техника? Физика и математика?

### → Домашнее задание

1. Ответьте письменно на вопрос: имена каких выдающихся ученых и из какой области науки вам уже известны?
2. Создайте авторскую эмблему физики. Лучшая эмблема получит право находиться на обложке ваших тетрадей по физике.



## § 2.

### Физическое тело, физическое явление, физическая величина



Рис. 5



Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8

Оглянитесь вокруг себя. Вы увидите огромное многообразие предметов. Это люди, животные, деревья. Это телевизор, автомобиль, яблоко, камень, лампочка, карандаш и др. А что представляют собой эти предметы с точки зрения физики?

В физике **любой предмет называют физическим телом**. Чем отличаются друг от друга физические тела? Очень многим. Например, они могут состоять из разных веществ. У них могут быть различные объем и форма. Золотая и серебряная ложки (рис. 5) имеют одинаковые объем и форму, но состоят из разных веществ — золота и серебра. Деревянный кубик и шарик (рис. 6) имеют разные объем и форму. Это разные физические тела, но изготовлены они из одного и того же вещества — древесины.

Кроме физических тел, есть еще физические поля. Их не всегда можно обнаружить с помощью органов чувств человека, однако легко выявить с помощью опытов и приборов. Примеры физических полей — поле вокруг магнита (рис. 7), поле вокруг наэлектризованного тела (рис. 8).

С физическими телами и полями могут происходить разнообразные изменения. Ложка, опущенная в горячий чай, нагревается. Вода в луже испаряется, а в холодный день замерзает. Лампа (рис. 9) излучает свет. Девочка и собака (рис. 10) бегут (движутся). Магнит размагничивается, и его магнитное поле ослабевает. Нагревание, испарение, замерзание, излучение, движение, намагничивание и другие **изменения, происходящие с физическими телами и полями, называются физическими явлениями**.

Изучая физику, вы познакомитесь со многими физическими явлениями.

Для описания свойств физических тел и явлений вводятся физические величины. Например, описать свойства деревянного шарика и кубика можно с помощью таких физических величин, как объем, масса. Движение (девочки, автомобиля и др.) как физическое явление описывается с использованием таких физических величин, как путь, скорость, время. Обратите внимание на основной признак физической величины: ее можно измерить с помощью приборов или вычислить по формуле. Объем тела можно измерить мензуркой (мерным стаканом) с водой (рис. 11, а). А можно, измерив длину  $a$  (рис. 11, б), ширину  $b$  и высоту  $c$  линейкой, вычислить по формуле

$$V = a \cdot b \cdot c.$$

Все физические величины имеют свои обозначения и единицы измерения. О некоторых единицах измерения вы слышали много раз: килограмм, метр, секунда, киловатт и др. Более подробно с физическими величинами вы будете знакомиться в процессе изучения физики.

В 7-м классе мы будем изучать в основном механические явления. Они связаны с движением тел и их взаимодействием.



Рис. 9



Рис. 10

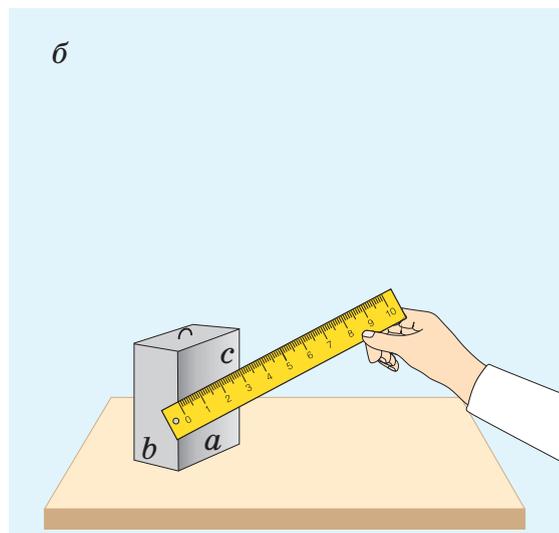
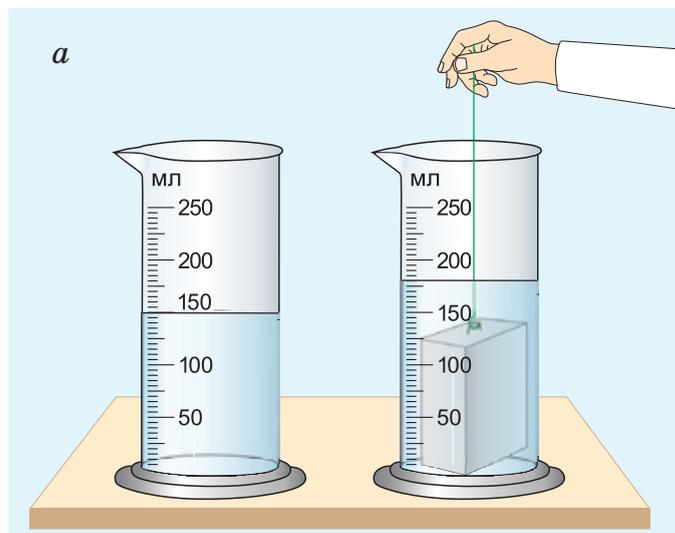


Рис. 11

## ■ Главные выводы

1. Основные понятия физики — «физическое тело», «физическое явление» и «физическая величина».
2. Физическое тело — это любой предмет.
3. Физическое явление — изменение, происходящее с физическим телом или полем.
4. Физическая величина описывает свойство физического тела или явления.
5. Физическую величину можно измерить или вычислить по формуле.

## ? Контрольные вопросы

1. Что называют физическим телом? Физическим явлением?
2. Каков основной признак физической величины? Назовите известные вам физические величины.
3. Из нижеприведенных понятий выберите и назовите те, которые относятся к:
  - а) физическим телам;
  - б) физическим явлениям;
  - в) физическим величинам.
  - 1) Капля; 2) нагревание; 3) длина; 4) гроза; 5) кубик; 6) объем; 7) ветер; 8) сонливость; 9) температура; 10) карандаш; 11) время; 12) восход Солнца; 13) скорость; 14) красота.

## ➔ Домашнее задание

В нашем организме есть «измерительное устройство». Это сердце, с помощью которого можно оценивать время.

Определите по пульсу (числу ударов сердца) время, за которое стакан наполняется водой из-под крана. Считайте время между двумя последовательными ударами сердца примерно равным одной секунде. Сравните это время с показаниями часов. На сколько и почему отличаются полученные результаты?



## § 3.

## Методы исследования в физике

За многие тысячелетия своего существования человечество накопило огромное количество знаний об окружающем мире. Например, научно доказано, что Земля вращается вокруг своей оси. Свет в большинстве случаев распространяется прямолинейно. Молния есть электрический разряд. Но в результате чего и как появились эти и другие знания? Каков метод научного познания окружающего мира?

Метод научного познания окружающего мира включает несколько этапов. Первый из них — это **наблюдение явлений**.

Наблюдение осуществляется с помощью органов чувств человека, а также с помощью приборов. Например, в результате повседневных наблюдений установлено, что непрозрачные тела в солнечный день дают тень (рис. 12).

На основе дальнейших наблюдений **накапливаются факты** (результаты наблюдений). Так, согласно наблюдениям размеры тени изменяются в течение дня (рис. 13). Ее длина самая большая утром и вечером, а самая малая — в полдень. Как объяснить данные факты? Для этого **выдвигается гипотеза** (предположение, догадка).

Гипотез может быть несколько. В рассмотренном примере гипотеза состоит в том, что свет распространяется прямолинейно. Гипотеза иногда может быть и ошибочной, неверной. Тогда выдвигается новая гипотеза.

Гипотеза объясняет известные факты и предсказывает новые, еще неизвестные. Например, что могут образовываться тень и полутень, если источников света несколько или источник один,

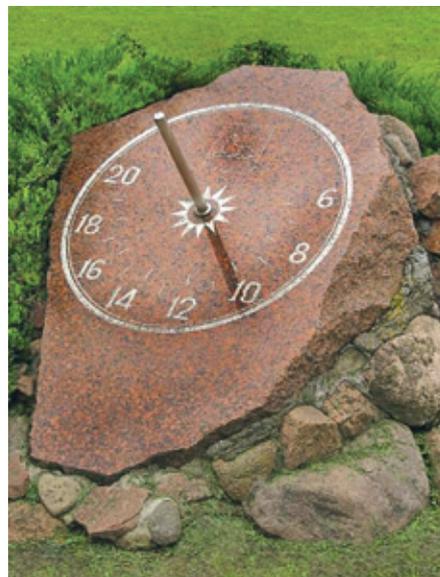


Рис. 12

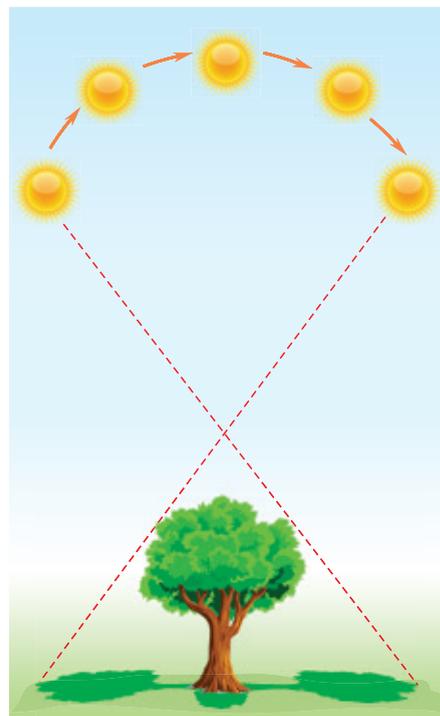


Рис. 13

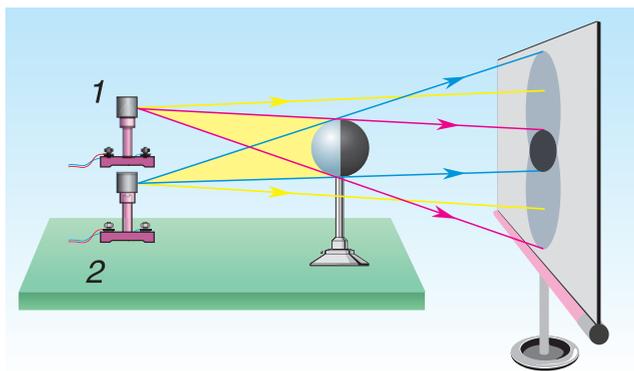


Рис. 14

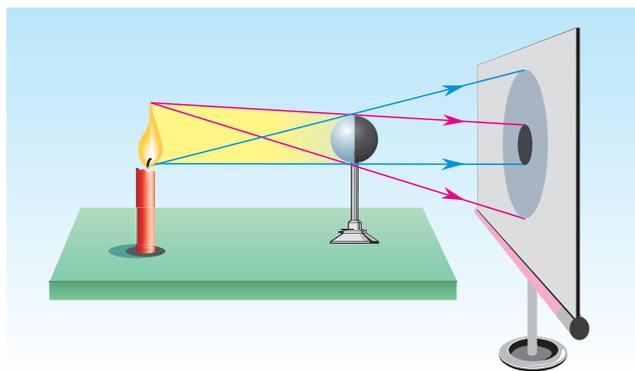


Рис. 15



Рис. 16

но он большой. Его размеры сравнимы с расстоянием до непрозрачного предмета, дающего тень.

Далее следует заключительный этап научного познания — **опыт**, или **экспериментальная проверка гипотезы**. Опыты ставятся в лаборатории.

Опыты, проводимые с двумя источниками света (рис. 14) и с одним источником больших размеров (рис. 15), показали, что размеры тени, а также наличие тени и полутени полностью подтверждают гипотезу о прямолинейном распространении света.

Если гипотеза подтвердилась, то она становится **законом**.

Гипотеза существует до тех пор, пока не появляются новые факты, которые ей противоречат.

Схематически научный путь познания можно представить так, как показано на рисунке 16.

### ■ Главные выводы

1. Познание природы начинается с наблюдений и накопления фактов.
2. Для объяснения фактов выдвигается гипотеза.
3. Результаты экспериментальной проверки гипотезы позволяют установить закон.
4. Появление новых фактов, противоречащих данной гипотезе, приводит к выдвижению новой гипотезы.

## ? Контрольные вопросы

1. Каковы источники наших знаний о физических явлениях? Приведите примеры.
2. Что является основанием для выдвижения гипотезы?
3. Может ли гипотеза быть ошибочной? Приведите примеры, известные вам из других наук.
4. Какова роль опыта в научном познании?

## ▼ Для любознательных

У известного русского поэта XIX в. А. С. Пушкина есть такие строки:

О сколько нам открытий чудных  
 Готовят просвещенья дух,  
 И опыт, сын ошибок трудных,  
 И гений, парадоксов друг,  
 И случай, бог-изобретатель [1].

О чем пишет Александр Сергеевич? Попробуйте расшифровать его высказывание. При необходимости обратитесь за помощью к учителю или родителям.

## → Домашнее задание

В физике известны имена многих гениальных мыслителей, среди которых такие выдающиеся личности, как Аристотель (рис. 17), Ньютон (рис. 18) и др.

Познакомьтесь с биографией любого из них (по вашему желанию) и выпишите наиболее интересные, на ваш взгляд, факты из его научной деятельности. Информацию можно получить из энциклопедического словаря, Интернета и других источников.



Рис. 17

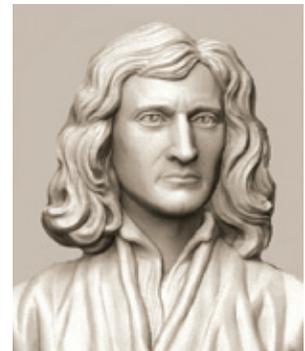


Рис. 18



## § 4.

# Роль измерений в физике. Прямые и косвенные измерения



Рис. 19

Наука начинается с тех пор,  
как начинают измерять...

*Д. И. Менделеев*

Вдумайтесь в слова известного ученого. Из них ясна роль измерений в любой науке, особенно в физике. Не менее важны измерения и в практической жизни. Можете ли вы представить свою жизнь без измерения времени, массы, длины, скорости движения, расхода электроэнергии и т. д.?

Как измерить физическую величину? Для этой цели используются **измерительные приборы**. Некоторые из них вам уже известны. Это разного вида линейки, часы, термометры, весы, транспорты и др.

Измерительные приборы бывают **цифровыми** и **шкальными**. В цифровых приборах результат измерений определяется цифрами. Это электронные приборы — часы, термометр, счетчик электроэнергии (рис. 19) и др.

Линейка, стрелочные часы, бытовой термометр, весы, транспорты (рис. 20) — это шкальные



Рис. 20

приборы. Они имеют шкалу. По ней определяется результат измерений. Вся шкала расчерчена штрихами на деления (рис. 21). Одно деление — это не один штрих, как иногда ошибочно считают некоторые учащиеся. Это промежуток между двумя ближайшими штрихами. На рисунке 22 на шкале мензурки от значения 10 мл до значения 20 мл два деления, но три штриха. Приборы, которые мы будем использовать в лабораторных работах, в основном шкальные.

Что значит измерить физическую величину? **Измерить физическую величину — значит сравнить ее с однородной величиной, принятой за единицу.** Например, чтобы измерить длину отрезка прямой между точками *A* и *B*, нужно приложить линейку и по ее шкале (рис. 23) определить, сколько миллиметров укладывается между точками *A* и *B*. Однородной величиной, с которой проводится сравнение длины отрезка *AB*, в данном случае является длина, равная 1 мм.

**Если физическая величина измеряется непосредственно путем снятия данных со шкалы прибора, то такое измерение называют прямым.** Например, приложив линейку к разным ребрам бруска (рис. 24, *a*), мы определим его длину *a*, ширину *b* и высоту *c* (рис. 24, *б*). Значение длины, ширины и высоты мы определили непосредственно, сняв данные со шкалы линейки. Из рисунка 24, *a* следует:  $a = 55$  мм. Это прямое измерение.

А как определить объем бруска? Надо провести прямые измерения его длины *a*, ширины *b* и высоты *c*, а затем по формуле

$$V = a \cdot b \cdot c$$

вычислить объем бруска.

В этом случае мы говорим, что объем бруска определили **по формуле**, т. е. **косвенно**. Измерение объема называется **косвенным измерением**.

Измерения физических величин чаще всего косвенные. В дальнейшем вы убедитесь в этом сами.

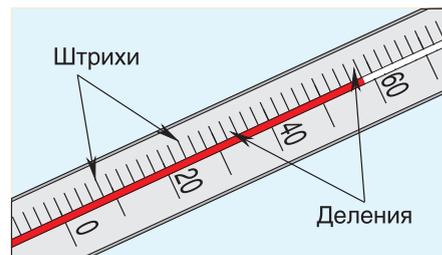


Рис. 21

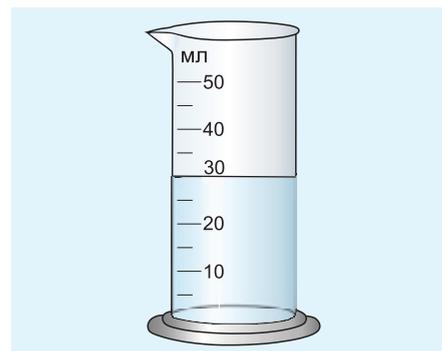


Рис. 22

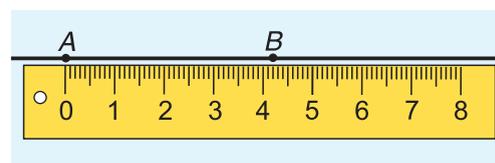


Рис. 23

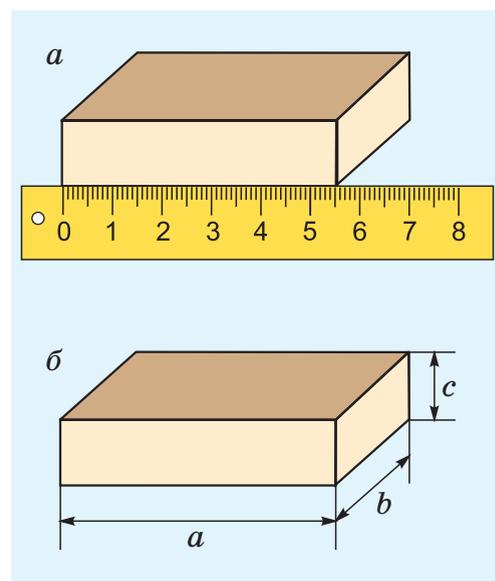


Рис. 24

## □ Главные выводы

1. Измерительные приборы бывают цифровыми и шкальными.
2. При прямых измерениях физическая величина определяется непосредственно по шкале прибора.
3. При косвенных измерениях физическая величина определяется по формуле.

## ? Контрольные вопросы

На рисунке 25 представлено несколько измерительных приборов.

1. Как называются эти измерительные приборы?
2. Какие из них цифровые? Какие шкальные?
3. Какую физическую величину измеряет каждый прибор?
4. Что представляет собой однородная величина, с которой сравнивают измеряемую величину, для каждого прибора, изображенного на рисунке 25?



Рис. 25

## ▼ Для любознательных

Изучая строение человеческого тела и работу его органов, ученые проводят множество измерений. Оказывается, в человеке массой примерно 70 кг около 6 л крови. Сердце человека в спокойном состоянии сокращается 60—80 раз в минуту. За одно сокращение оно выбрасывает в среднем  $60 \text{ см}^3$  крови, в минуту — около 4 л, в сутки — около 6—7 т, в год — более 2000 т. Так что наше сердце — большой труженик!

В течение суток кровь человека около 360 раз проходит через почки, очищаясь там от вредных веществ. Общая протяженность почечных кровеносных сосудов составляет приблизительно 18 км. Ведя здоровый образ жизни, мы помогаем нашему организму работать без сбоев!

## → Домашнее задание

1. Перечислите в тетради измерительные приборы, которые есть у вас дома. Распределите их по группам:
  - а) цифровые; б) шкальные.
2. Проверьте справедливость правила Леонардо да Винчи (рис. 26) — итальянского художника, математика, астронома, инженера 2-й половины XV — начала XVI в. Для этого:
  - а) измерьте свой рост — попросите кого-нибудь поставить на стене небольшую черточку карандашом (рис. 27); измерьте расстояние от пола до отмеченной черточки;
  - б) измерьте расстояние по горизонтальной прямой между концами пальцев разведенных в стороны рук (рис. 28);
  - в) сравните полученное в пункте б) значение со своим ростом. У большинства людей эти значения равны, что впервые было подмечено Леонардо да Винчи.



Рис. 26



Рис. 27



Рис. 28



## § 5.

### Единицы измерения физических величин. Международная система единиц (СИ)



Рис. 29

Чтобы решить, как быстрее доехать до вокзала — на трамвае или на такси, сравнивают скорости их движения. Скорость — физическая величина. Она количественно описывает физическое явление — движение. Если скорость автомобиля  $90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , а трактора (рис. 29)  $30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , то ясно, что автомобиль движется в 3 раза быстрее трактора.

Для описания физических явлений и свойств используется множество физических величин: длина, сила, давление и др. Каждая физическая величина имеет **символическое обозначение, числовое значение и единицу измерения**. Например, длина веревки  $l = 2$  м. Здесь длина — физическая величина,  $l$  — ее символическое обозначение, 2 — числовое значение, м — сокращенное обозначение единицы длины (метра). Символами физических величин обычно являются буквы латинского и греческого алфавитов.

Исторически сложилось так, что у разных народов и государств единицы измерения одних и тех же физических величин различались. Часто это были единицы, соответствующие размерам частей тела человека, массе семени бобов и т. д. Пользоваться такими единицами было неудобно, особенно в торговле между разными государствами.

Например, в Англии для измерения длины использовался фут (1 фут = 30,5 см), а на Руси — аршин (1 аршин = 71,12 см) (рис. 30). Нужно было упорядочить систему единиц, сделать ее удобной в использовании всеми странами. В 1960 г. ввели единую *Международную систему единиц* (сокращенно СИ — Систему Интернациональную). Ею пользуется большинство стран. Основными единицами в СИ являются: метр (м) — для длины, килограмм (кг) — для массы, секунда (с) — для времени, кельвин (К) — для температуры.

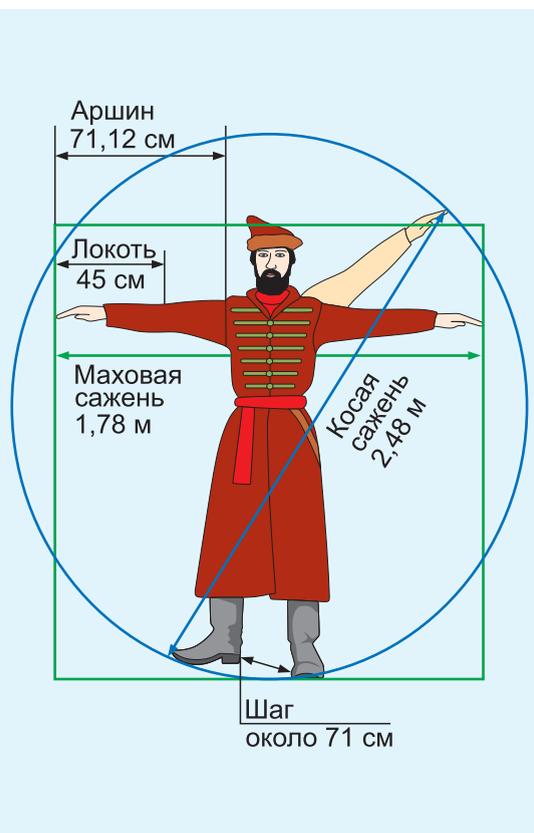


Рис. 30

Но всегда ли удобно измерять время в секундах, а длину в метрах? Оказывается, нет. Например, время движения поезда из Минска в Москву измеряют в часах (ч), а путь — в километрах (км). Единицы 1 ч и 1 км — это неосновные (кратные) единицы СИ. Между основными и неосновными единицами существует связь. Так,  $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$ ,  $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$ .

Основные единицы измерения имеют эталоны\*. Эталон хранится в г. Севре (Франция) в Международном бюро мер и весов. На рисунке 31 приведен первый эталон килограмма — цилиндр из платино-иридиевого сплава. Сейчас эталон массы — более сложное устройство. Позже вы познакомитесь с эталонами различных единиц измерения.



Рис. 31

### ▼ Для любознательных

Эталонная база страны обеспечивает единство измерений и является частью национального достояния. В Беларуси, как и в других странах, ведется работа по исследованию и созданию эталонных комплексов. В Белорусском государственном институте метрологии созданы эталоны единиц массы, времени, длины, температуры и др.



### ■ Главные выводы

1. Каждая физическая величина имеет символическое обозначение, числовое значение и единицу измерения.
2. Основными единицами СИ являются: метр, килограмм, секунда, кельвин и др.
3. Основные единицы измерения имеют свои эталоны.

### ? Контрольные вопросы

1. Что необходимо знать, чтобы записать физическую величину?
2. Запишите в тетрадь пять физических величин, известных вам из математики.
3. Почему неудобно было пользоваться такими единицами длины, как фут или аршин?
4. Какие основные единицы измерения длины, массы, времени включает Международная система единиц (СИ)?

\* Слово «эталон» означает «идеальный образец».

**Пример решения задачи**

В одной из книг немецкого путешественника XVII в. есть такие строки: «Шелковая материя, привозимая с Востока, называется русскими “китайкой”, и каждый кусок содержит ни больше ни меньше как восемь с четвертью аршин». Сколько метров в куске материи?

Дано:

$$n = 8,25 \text{ аршина}$$

$$l_0 = 71,1 \text{ см} = 0,711 \text{ м}$$

$$l \text{ (м)} — ?$$

Решение

Так как длина одного аршина  $l_0 = 0,711 \text{ м}$ , то длина восьми с четвертью аршинов в метрах будет равна:

$$l \text{ (м)} = nl_0;$$

$$l \text{ (м)} = 8,25 \cdot 0,711 \text{ м} = 5,9 \text{ м}.$$

Ответ:  $l = 5,9 \text{ м}$ .

**Упражнение 1**

1. Используя символические обозначения физических величин, запишите кратко:

- спортсмен пробежал дистанцию 100 м;
- самолет долетел до пункта назначения за время 2,5 ч;
- масса яблок 3 кг;
- площадь участка 600 м<sup>2</sup>;
- в банку налили 0,5 л воды.

2. В рассказе Л. Н. Толстого «Черепаша» [2] есть такая фраза: «Черепаша бывают маленькие, не больше блюдечка, и большие, в три аршина длины и весом в 20 пудов». Выразите длину большой черепахи в метрах (м) и сантиметрах (см), массу — в килограммах (кг). Указание: 1 пуд = 16,4 кг.

3. Писательница С. Савицкая в историческом романе «Распутай время» [3] пишет: «Дороги подземных недр достигали 30 верст». Выразите длину дорог в километрах (км). Указание: 1 верста = 1066,8 м.

4. Переведите в основные единицы СИ:

- массу шарика  $m = 200 \text{ г}$ ;
- длину линейки  $l = 25 \text{ см}$ ;
- время движения автомобиля  $t = 1 \text{ ч } 30 \text{ мин}$ ;
- площадь засеянного поля  $S = 100 \text{ га}$ .



## § 6.

### Действия над физическими величинами

В математике можно складывать, вычитать и сравнивать любые числа. А какие действия можно производить над физическими величинами?

Действия сложения, вычитания и сравнения над физическими величинами можно производить только в том случае, если они однородны, т. е. **представляют одну и ту же физическую величину.**

Мы можем складывать длину с длиной, вычитать из массы массу, сравнивать время со временем (пример 1). Смешно и нелепо было бы складывать 4 м и 5 кг или вычитать 30 с из 9 кг. А вот умножать и делить можно как однородные, так и разнородные физические величины.

В примере 2 делятся не только числовые значения ( $10 : 2 = 5$ ), но и единицы физических величин ( $\text{кг} : \text{кг} = 1$ ). Результат показывает, во сколько раз одна масса больше другой.

В примере 3 умножаются числовые значения ( $2 \cdot 4 = 8$ ) и единицы физических величин ( $\text{м} \cdot \text{м} = \text{м}^2$ ). В результате умножения двух длин  $l_1 = 2 \text{ м}$  и  $l_2 = 4 \text{ м}$  получилась новая физическая величина — площадь  $S = 8 \text{ м}^2$ .

В примере 4 в результате деления двух разнородных физических величин — длины  $l = 10 \text{ м}$  на время  $t = 2 \text{ с}$  — получилась новая физическая величина  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Ее числовое значение равно 5, а единица новой физической величины —  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Эта физическая величина  $v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  — скорость. Подробнее о ней вы узнаете в 3-й главе.

В примере 5 знак равенства относится не только к числовым значениям, но и к единицам. Знак равенства поставить нельзя, если сравнить  $\frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}}$  и  $\frac{20 \text{ м}}{4 \text{ мин}}$ . Здесь  $\frac{\text{м}}{\text{с}} \neq \frac{\text{м}}{\text{мин}}$ .

Пример 1

$$4 \text{ м} + 3 \text{ м} = 7 \text{ м}$$

$$9 \text{ кг} - 5 \text{ кг} = 4 \text{ кг}$$

$$30 \text{ с} > 10 \text{ с}$$

Пример 2

$$\frac{10 \text{ кг}}{2 \text{ кг}} = 5$$

Пример 3

$$2 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 8 \text{ м}^2$$

Пример 4

$$\frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Пример 5

$$\frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}} = \frac{20 \text{ м}}{4 \text{ с}}$$

## ■ Главные выводы

1. Складывать, вычитать и сравнивать можно только однородные физические величины.
2. Умножение и деление разнородных величин приводит к новой физической величине.

## ? Контрольные вопросы

1. Что необходимо учитывать при сложении и вычитании физических величин?
2. Какие физические величины можно сравнивать? Приведите примеры.
3. Можно ли делить и умножать разнородные физические величины?



## Примеры решения задач

1. Выберите значения физических величин, которые можно складывать: 120 г, 40 см<sup>2</sup>, 56 м<sup>3</sup>, 8 мин, 0,048 кг. Определите значение физической величины, получившейся в результате сложения.

### Решение

Однородными физическими величинами в данном случае являются массы тел:  $m_1 = 120$  г и  $m_2 = 0,048$  кг.

Для выполнения операции сложения физические величины необходимо выразить в одних единицах.

Одну из масс, например  $m_2$ , выразим в единицах, в которых записана масса  $m_1$ , т. е. в граммах (г).

Так как  $1$  кг = 1000 г,  $m_2 = 0,048$  кг =  $0,048 \cdot 1000$  г = 48 г.

Следовательно,  $m = m_1 + m_2 = 120$  г + 48 г = 168 г.

Ответ: результатом сложения является масса  $m = 168$  г.

2. Определите физические величины, получившиеся в результате выполнения следующих действий: а)  $35$  г :  $5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ; б)  $40$  см · 0,25 м.

### Решение

а) Найдем отношение двух физических величин, разделив их числовые значения и единицы:

$$35 \text{ г} : 5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{35}{5} \text{ см}^3 = 7 \text{ см}^3.$$

Мы получили физическую величину объем —  $V = 7$  см<sup>3</sup>.

б) Чтобы умножить две однородные физические величины, необходимо выразить их в одних единицах, например в сантиметрах (см):

$$40 \text{ см} \cdot 0,25 \text{ м} = 40 \text{ см} \cdot 25 \text{ см} = 1000 \text{ см}^2 = 10 \text{ дм}^2.$$

Мы получили физическую величину — площадь  $S = 10 \text{ дм}^2$ .

Ответ: а) в результате деления двух разнородных физических величин (массы и плотности) получена третья физическая величина — объем  $V = 7 \text{ см}^3$ ; б) в результате умножения двух однородных физических величин (длин) получена третья физическая величина — площадь  $S = 10 \text{ дм}^2$ .

## Упражнение 2

1. Какие из приведенных значений величин можно складывать?

Выполните сложение и запишите результат:

а) 3,0 мин, 26 см, 5 см<sup>2</sup>, 40 с, 10 кг, 25 см<sup>3</sup>;

б) 2,0 кг, 15 мм, 10 мм<sup>2</sup>, 60 с, 25 г, 2,5 мл.

2. Какие из приведенных значений величин можно вычитать? Вы-

полните вычитание и запишите результат:

а) 16 см, 8,0 кг, 40 с, 64 см<sup>3</sup>, 90 мм;

б) 2,0 ч, 300 кг, 40 см<sup>3</sup>, 20 мин, 30 км, 12 т.

3. Сравните длины отрезков:  $l_1 = 4,8 \text{ см}$ ,  $l_2 = 4,8 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 48 \text{ мм}$ .

Есть ли среди них равные? Какой отрезок имеет наименьшую длину?

Изобразите отрезки в тетради.

4. Какая физическая величина получается в результате следующих действий:

а)  $12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3,0 \text{ м}^3$ ;      в)  $25,0 \text{ см} + 150 \text{ мм}$ ;      д)  $\frac{14 \text{ м}^2}{2,0 \text{ м}}$ ;

б)  $40 \text{ см} - 0,15 \text{ м}$ ;      г)  $20 \text{ см} \cdot 0,50 \text{ м} \cdot 3,0 \text{ дм}$ ;      е)  $\frac{27 \text{ м}^3}{9,0 \text{ м}}$ ?

5. Вставьте нужную физическую величину:

а)  $5 \text{ м} - \dots = 1 \text{ м}$ ;

б)  $300 \text{ кг} + \dots = 0,5 \text{ т}$ ;

в)  $4 \text{ дм} \cdot \dots = 20 \text{ дм}^2$ .



## § 7.

### Измерительные приборы. Цена деления. Погрешность измерения

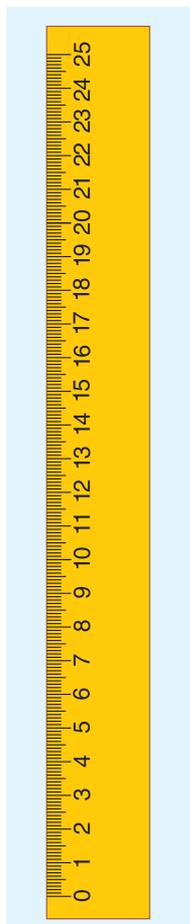


Рис. 32

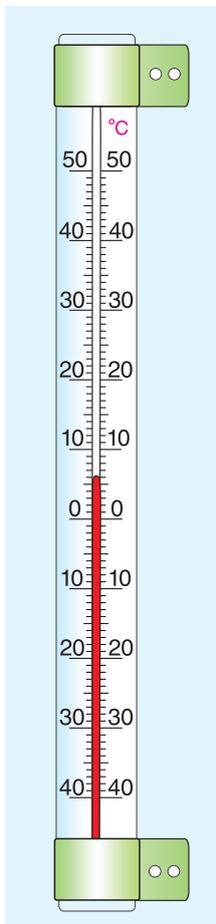


Рис. 33

Приступая к измерениям, необходимо, прежде всего, подобрать приборы. Что надо знать об измерительных приборах?

**Минимальное (нижний предел) и максимальное (верхний предел) значения шкалы прибора — это пределы измерения.** Чаще всего предел измерения один, но может быть и два. Например, линейка имеет один предел — верхний. У линейки на рисунке 32 он равен 25 см. У термометра на рисунке 33 два предела: верхний предел измерения температуры равен  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; нижний  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 34 изображены три линейки с одинаковыми верхними пределами (25 см). Но эти линейки измеряют длину с различной погрешностью. Наименьшую погрешность измерений дает линейка 1, наибольшую — линейка 3.

Что же такое погрешность измерения и от чего она зависит? Для ответа на эти вопросы рассмотрим сначала понятие *цена деления шкалы прибора*.

**Цена деления — это значение наименьшего деления шкалы прибора.**

Как определить цену деления шкалы? Для этого необходимо:

1) выбрать на шкале линейки два соседних значения, например 3 см и 4 см;

2) подсчитать число делений (не штрихов!) между этими значениями; например, на линейке 1 (рис. 34) число делений между значениями 3 см и 4 см равно 10;

3) вычесть из большего значения меньшее ( $4\text{ см} - 3\text{ см} = 1\text{ см}$ ) и результат разделить на число делений.

Полученное значение и будет ценой деления шкалы прибора. Обозначим ее буквой  $C$ .

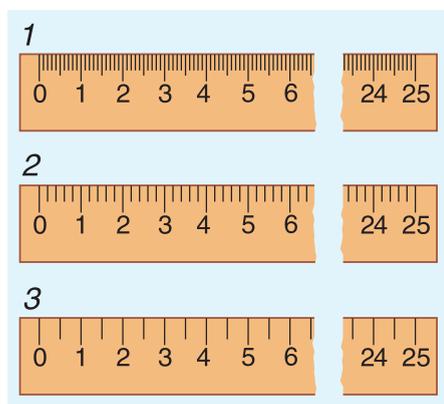


Рис. 34

Для линейки 1:  $C_1 = \frac{1 \text{ см}}{10 \text{ дел.}} = 0,1 \frac{\text{см}}{\text{дел.}}$ .

Для линейки 2:  $C_2 = \frac{1 \text{ см}}{5 \text{ дел.}} = 0,2 \frac{\text{см}}{\text{дел.}}$ .

Для линейки 3:  $C_3 = \frac{1 \text{ см}}{2 \text{ дел.}} = 0,5 \frac{\text{см}}{\text{дел.}}$ .

Точно так же можно определить и цену деления шкал мензурок 1 и 2 (рис. 35).

Для мензурки 1:  $C_1 = \frac{30 \text{ мл} - 20 \text{ мл}}{2 \text{ дел.}} = 5 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ .

Для мензурки 2:  $C_2 = \frac{30 \text{ мл} - 20 \text{ мл}}{10 \text{ дел.}} = 1 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ .

А какими линейкой и мензуркой можно измерить точнее, т. е. с меньшей погрешностью?

Как следует из теории, **погрешность при измерении равна половине цены деления шкалы измерительного прибора.**

Измерим один и тот же объем мензуркой 1 и мензуркой 2. По показаниям шкал в мензурке 1 объем воды  $V = 35$  мл; в мензурке 2 —  $V = 37$  мл.

Понятно, что точнее (с меньшей погрешностью) измерен объем воды мензуркой 2, цена деления которой меньше  $\left(1 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}} < 5 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}\right)$ . Значит, **чем меньше цена деления шкалы, тем с меньшей погрешностью можно измерять данным прибором.** Говорят: мензуркой 1 мы измерили объем с погрешностью до 2,5 мл (сравните с ценой деления шкалы  $C_1 = 5 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ ), мензуркой 2 — с погрешностью до 0,5 мл (сравните с ценой деления  $C_2 = 1 \frac{\text{мл}}{\text{дел.}}$ ). *Погрешность измерения температуры термометрами 1 и 2 (рис. 36) определите самостоятельно.*

Итак, любым прибором, имеющим шкалу, измерить физическую величину можно с погрешностью, равной половине цены деления шкалы.

Линейкой 1 (см. рис. 34) можно измерить длину с погрешностью до 0,5 мм. *Погрешность измерения длины линейками 2 и 3 определите самостоятельно.*

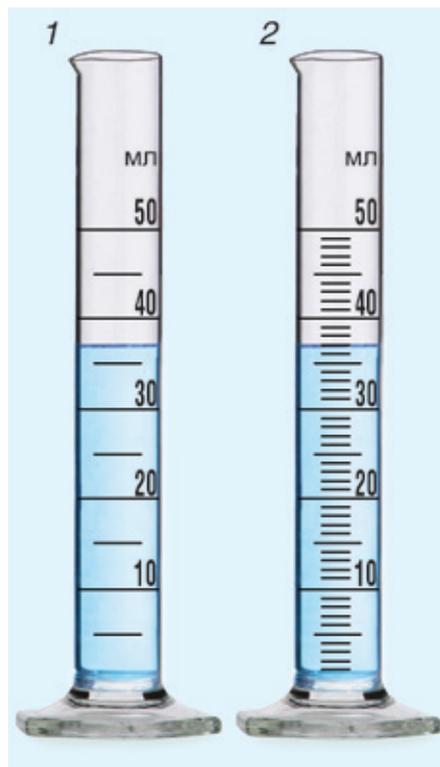


Рис. 35

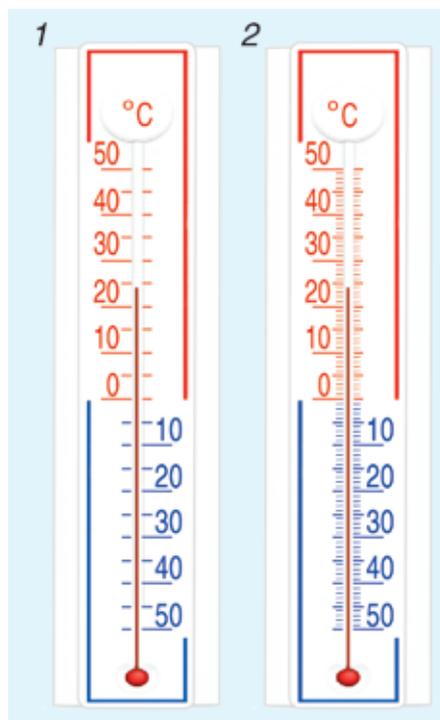


Рис. 36

## □ Главные выводы

1. Верхний и нижний пределы измерения — это максимальное и минимальное значения шкалы прибора.
2. Цена деления шкалы равна значению наименьшего деления шкалы.
3. Чем меньше цена деления шкалы, тем с меньшей погрешностью будут проведены измерения данным прибором.

## ? Контрольные вопросы

1. Что называют ценой деления?
2. Как определить цену деления шкалы прибора?
3. От чего зависит погрешность измерения данным прибором?
4. На рисунке 37 изображены измерительные приборы. Как они называются? Какие физические величины они измеряют? Какова цена деления шкалы каждого из них?
5. Каковы значения верхнего и нижнего пределов измерения приборов, изображенных на рисунке 37?
6. Можно ли использовать термометр, представленный на рисунке 37, б, на Севере? Почему?
7. На каких видах транспорта можно использовать изображенный на рисунке 37, в спидометр: на самолете, автомобиле, велосипеде? Почему?

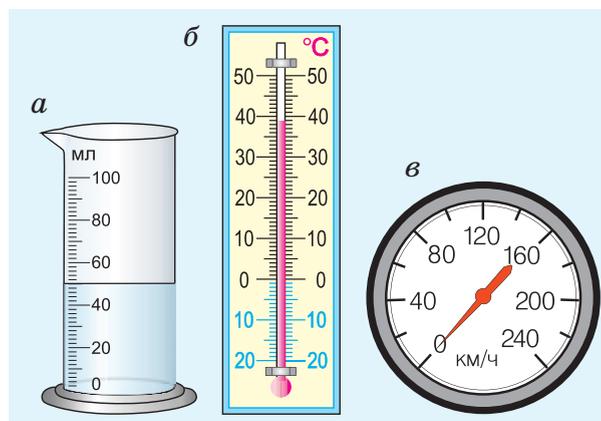


Рис. 37

## ▼ Для любознательных

В истории науки есть немало случаев, когда уменьшение погрешности измерений давало толчок к новым открытиям. Более точные измерения плотности азота, выделенного из воздуха, позволили в 1894 г. открыть новый инертный газ — аргон. Уменьшение погрешности измерений плотности воды привело к открытию в 1932 г. одной из разновидностей тяжелых атомов водорода — дейтерия. Позже дейтерий вошел в состав ядерного горючего. Оценить расстояния до звезд и создать их точные каталоги ученые смогли благодаря уменьшению погрешности при измерении положения ярких звезд на небе.

## → Домашнее задание

1. Возьмите пластиковую бутылку и мерный стакан, изготовьте мензурку. Определите цену деления и погрешность измерения изготовленной вами мензурки. Для изготовления шкалы используйте узкий лейкопластырь.

2. Изготовьте «часы Галилея». В дне пластиковой бутылки сделайте гвоздем отверстие. Вертикально на всю высоту бутылки наклейте узкую полоску лейкопластыря. Наполните бутылку водой на  $\frac{2}{3}$  высоты. Штрихами отметьте на лейкопластыре начальный уровень воды, а затем уровни воды в открытой бутылке через 10 с, 20 с, 30 с и т. д. Расстояния между штрихами разделите на 10 равных частей. Пользуясь этими «часами», измерьте время показа одного рекламного ролика по телевизору.



## Пример решения задачи

Для измерения величины угла используют транспортир. Определите: 1) цену деления нижней и верхней шкал транспортира, изображенного на рисунке 38; 2) значение угла  $BAC$ , используя каждую шкалу; укажите погрешность измерения угла  $BAC$  в каждом случае.

### Решение

1) Цена деления нижней шкалы:

$$C_n = \frac{130^\circ - 120^\circ}{1 \text{ дел.}} = \frac{10^\circ}{\text{дел.}}$$

Цена деления верхней шкалы:

$$C_v = \frac{130^\circ - 120^\circ}{10 \text{ дел.}} = \frac{1^\circ}{\text{дел.}}$$

2) Определенный по нижней шкале с погрешностью до  $5^\circ$   $\angle BAC = 125^\circ$ ; определенный по верхней шкале с погрешностью до  $0,5^\circ$   $\angle BAC = 127,0^\circ$ .

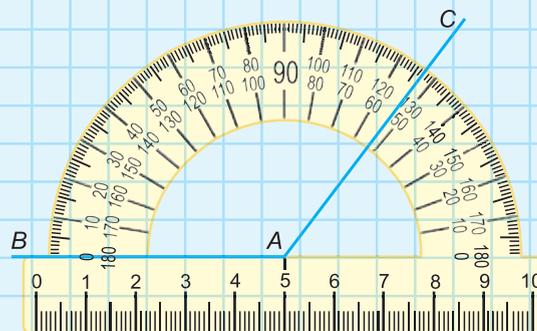


Рис. 38

## Упражнение 3

1. Определите цену деления шкалы часов, если между штрихами, соответствующими значениям 15 мин и 30 мин, имеется 3 деления.

2. Температура воздуха в комнате  $t_0 = 16^\circ\text{C}$ . После того как включили обогреватель, уровень жидкости в комнатном термометре поднялся на 4 деления. Определите, какая температура воздуха установилась в комнате, если цена деления термометра  $C = 2,0 \frac{^\circ\text{C}}{\text{дел.}}$ .

3. Цена деления шкалы спидометра  $C = 10 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \text{дел.}$ . На сколько делений переместилась стрелка спидометра при выезде автомобиля из населенного пункта на трассу, если его скорость изменилась от  $v_1 = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  до  $v_2 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ?

4. Какую температуру показывает термометр на рисунке 39? С какой погрешностью можно измерить температуру данным термометром?

5. На рисунке 40 представлены четыре мензурки. Определите цену деления шкалы каждой мензурки и объемы жидкостей, налитых в них.

6. Определите объемы жидкостей, налитых в мензурки (рис. 41). Есть ли среди них равные? Какая из мензурок позволяет определить объем жидкости с меньшей погрешностью?

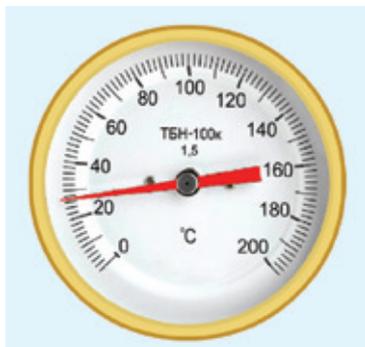


Рис. 39

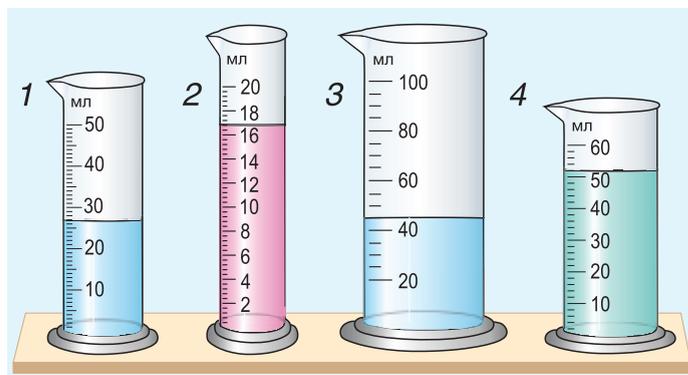


Рис. 40

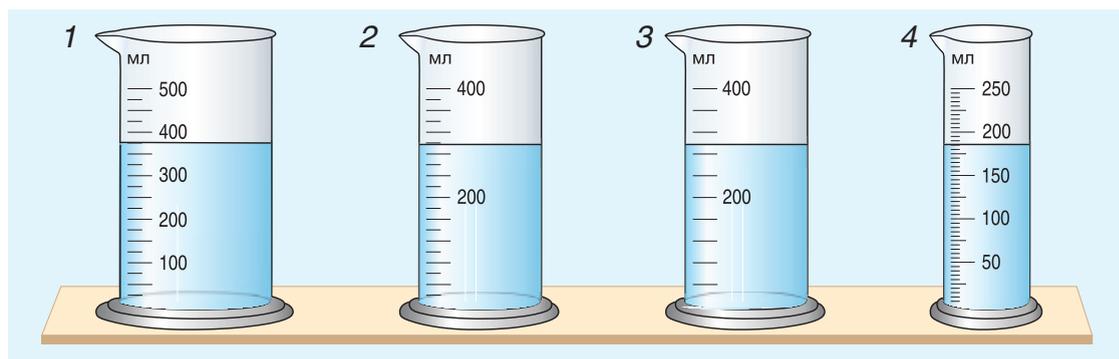


Рис. 41



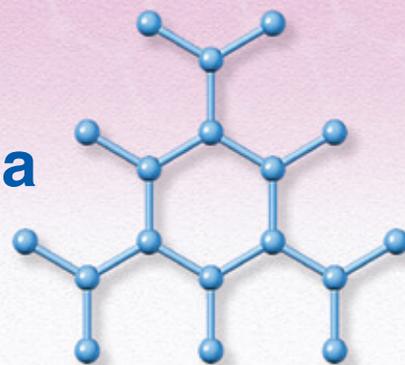
### Темы проектных заданий

1. Роль эксперимента при открытии закона.
2. От аршина к метру.
3. Почему шкала термометра имеет два предела измерения, а шкалы линейки, спидометра — только один?

# 2



## Строение вещества



- Почему алмаз твердый, а графит мягкий?
- Куски пластилина легко соединить в один, а осколки разбитой чашки — нет. Почему?
- Возможно ли увидеть атомы и молекулы?





## § 8.

### Дискретное строение вещества

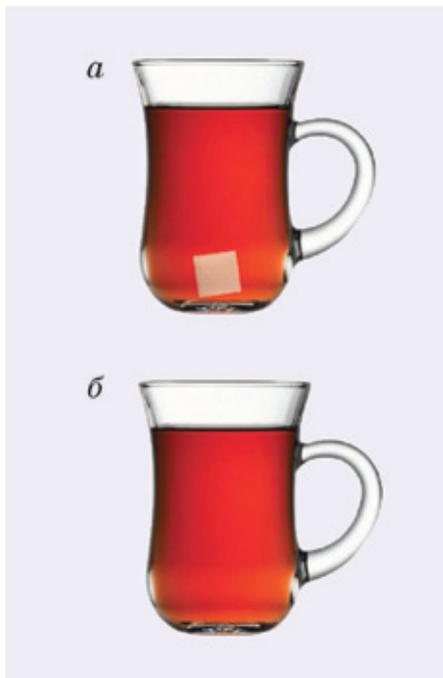


Рис. 42

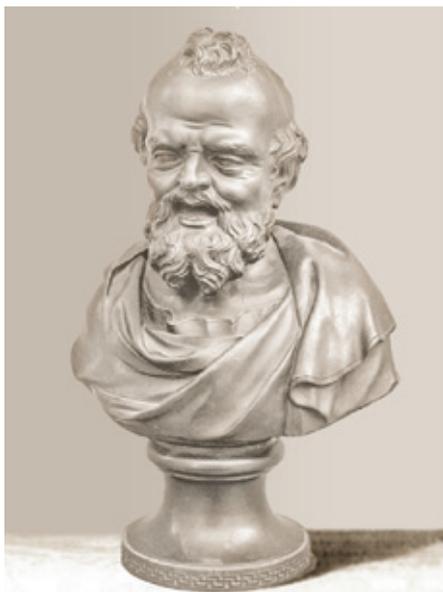


Рис. 43

Другого ничего в природе нет.  
Ни здесь, ни там, в космических глубинах:  
Все — от песчинок малых до планет —  
Из элементов состоит единых.

С. Щипачев [5]

О каких элементах идет речь в вышеприведенных строках стихотворения?

Все тела состоят из каких-либо веществ. Например, ручка — из пластмассы, карандаш — из древесины и графита.

Вещества обладают различными, только им присущими свойствами: цветом, запахом, плотностью, текучестью и др. А что общего у всех веществ?

Проведем опыт. В кружку с чаем положим кусочки сахара (рис. 42, а) и размешаем. Крупинки сахара стали невидимыми (рис. 42, б), а чай — сладким. Значит, сахар не исчез. Он остался в чае. Но почему крупинки не видны? Они распались на мельчайшие частицы, невидимые глазом.

**Мельчайшие частицы вещества, способные существовать самостоятельно и сохраняющие основные свойства вещества, называются молекулами.**

Не только сахар, но и все вещества состоят из мельчайших частиц, т. е. имеют **дискретное (прерывистое)** строение. Разные вещества состоят из различных молекул.

Гипотеза о дискретном строении вещества была выдвинута греческим философом Демокритом (рис. 43) около 25 веков назад. Легенда рассказывает, что однажды Демокрит сидел на камне у моря, держал в руке яблоко и размышлял: «Если я сейчас это яблоко разрежу пополам, у меня останется половина яблока; если я затем эту половину снова разрежу на две части — останется четверть яблока; но если я и дальше

буду продолжать такое деление, то не приведет ли это к тому, что оставшаяся часть уже не будет обладать свойствами яблока?» Демокрит пришел к выводу, что предел делению существует, и назвал эту последнюю, уже неразрезаемую, неделимую частицу атомом (от греч. *atomos* — неделимый).

Из атомов состоят молекулы. Некоторые вещества состоят только из атомов. На рисунке 44 изображена модель молекулы воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Она состоит из одного атома кислорода  $\text{O}$  и двух атомов водорода  $\text{H}$ . А вот алмаз (рис. 45) состоит только из атомов углерода. Всего в природе встречается 92 вида различных атомов. Кроме того, в научных лабораториях получено 26 видов атомов. Как из 33 букв алфавита образуется множество разных слов, так из атомов образуется множество различных молекул — от самых простых до очень сложных (рис. 46). Из молекул состоит большинство веществ.

Молекулы вещества можно разделить на атомы. Атомы, соединяясь с другими атомами, образуют новые вещества с новыми свойствами. Например, вода под действием электрического тока может превратиться в газы: водород и кислород (рис. 47). Их свойства отличаются от свойств воды.

При нагревании вода превращается в газ (пар), при охлаждении — в лед. И пар, и вода, и лед состоят из одинаковых молекул (рис. 48).

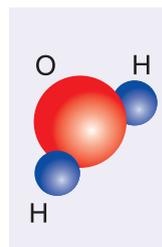


Рис. 44



Рис. 45

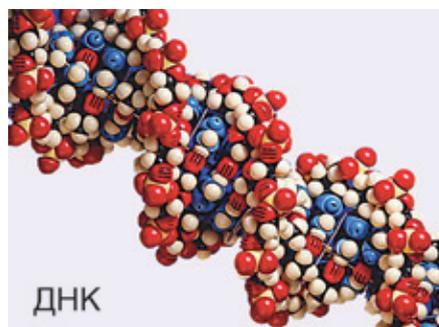
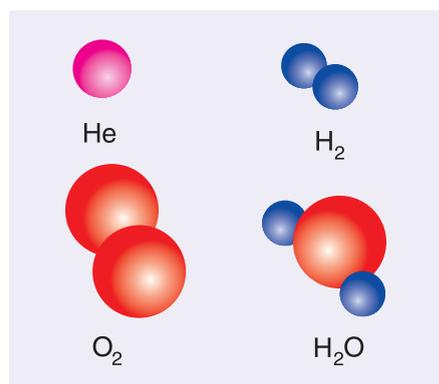


Рис. 46

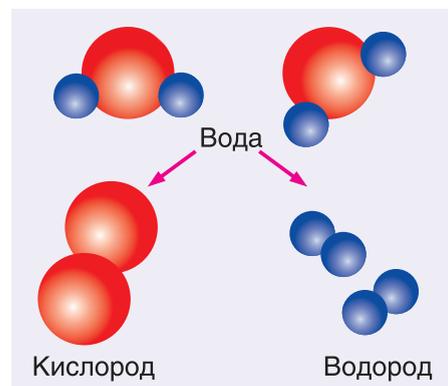


Рис. 47

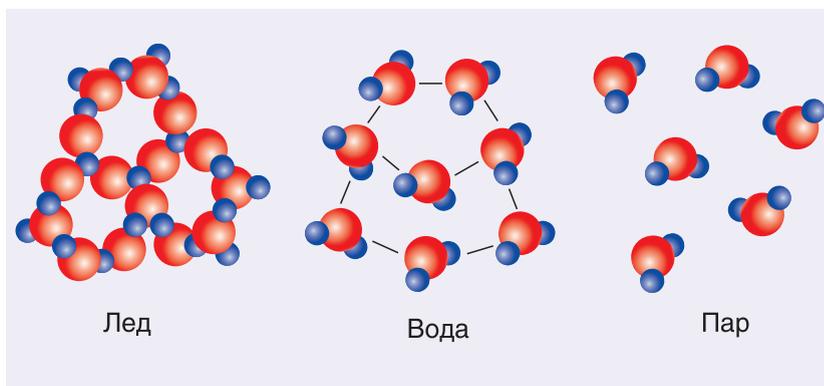


Рис. 48

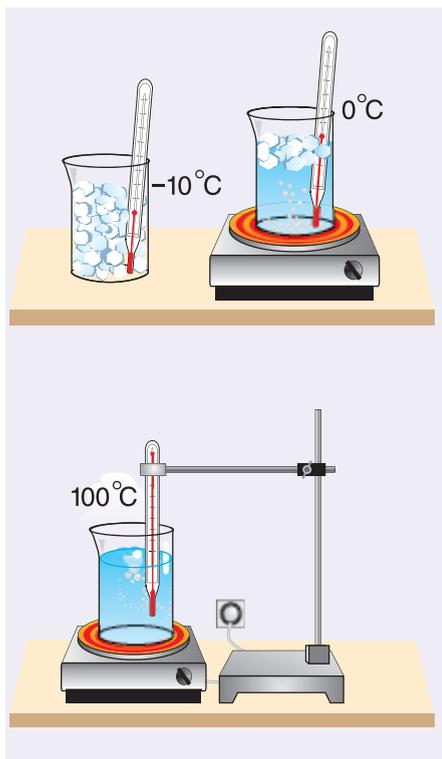


Рис. 49

Однако молекулы по-разному взаимодействуют друг с другом, поэтому свойства льда, воды и пара разные.

Дискретное строение вещества подтверждают многие из наблюдаемых нами явлений. К ним относится возможность существования вещества (например,  $H_2O$ ) в трех состояниях — твердом, жидком и газообразном (рис. 49). Также свидетельством дискретного строения вещества является смешивание и окрашивание жидкостей (рис. 50). Еще один наглядный пример из жизни — это растекание масла по поверхности воды и образование пятна определенной площади (рис. 51).

Наблюдать дискретное строение вещества стало возможным после того, как ученые создали микроскопы с высочайшей степенью увеличения. На рисунке 52, а представлена фотография атома водорода, а на рисунке 52, б — структуры поверхности графита. Данные фотографии были получены с помощью самых современных микроскопов с очень большим увеличением.



Рис. 50



Рис. 51

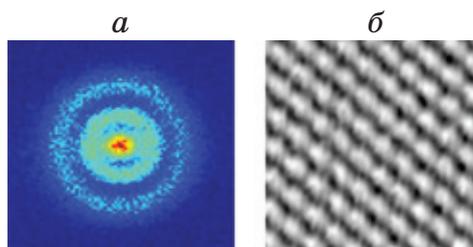


Рис. 52

### ▼ Для любознательных

Представим себе, что мы нанизали на воображаемую нить все молекулы, находящиеся в  $1 \text{ см}^3$  воздуха, так, чтобы они касались друг друга. Получившейся нитью можно было бы 200 раз обмотать по экватору земной шар. Так велико число молекул в  $1 \text{ см}^3$  воздуха!

Есть вещества, молекулы которых во много раз больше по массе и числу атомов, чем, например, молекула воды. Масса молекулы некоторых белковых веществ примерно в 1 000 000 раз больше массы молекулы воды.

Молекула гемоглобина (вещества крови, которое переносит кислород) состоит из 1400 атомов, что примерно в 467 раз больше числа атомов в молекуле воды.

### ▣ Главные выводы

1. Все вещества имеют дискретное (прерывистое) строение.
2. Молекулы — мельчайшие частицы вещества, способные существовать самостоятельно и сохраняющие основные свойства вещества.
3. Молекулы состоят из атомов.

### ? Контрольные вопросы

1. До каких пор можно делить вещество?
2. Что означает слово «дискретный»?
3. Какие опыты и наблюдения подтверждают дискретное строение вещества?
4. Какие частицы называются молекулами?
5. Из чего состоят молекулы?
6. Какую наименьшую толщину может иметь масляная пленка (см. рис. 51)?

### → Домашнее задание

Налейте в таз воды и капните по возможности малую каплю масла (лучше машинного). Опишите наблюдаемое явление.



## § 9.

### Тепловое движение частиц

Мы уже знаем, что все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов, молекул. Как ведут себя частицы вещества?

Для получения ответа проведем опыт. В стаканы с теплой и холодной водой бросим одинаковое количество кристалликов марганцовки (перманганата калия) (рис. 53). Уже через несколько минут мы увидим, как вода постепенно окрашивается в розовый цвет. Причем в теплой воде окрашивание идет быстрее, чем в холодной. О чем говорят результаты опыта?

1. Розовый цвет воды указывает на то, что марганцовка растворяется в воде.

2. Окрашивание идет по всем направлениям. Значит, частицы марганцовки и воды сталкиваются между собой и движутся беспорядочно (хаотично).

3. Окрашивание воды в стакане с теплой водой идет быстрее. Значит, в теплой воде хаотическое движение и столкновения частиц более интенсивны, чем в холодной.

4. Перемешивание веществ, проникновение их друг в друга указывает на то, что между частицами есть промежутки.

**Беспорядочное движение частиц вещества, зависящее от степени нагретости вещества, называют тепловым.**

**Явление взаимного проникновения веществ друг в друга называют диффузией.**

Хаотично движутся молекулы в газах. Движение молекул в жидкостях и твердых телах отличается от их движения в газах, но тоже хаотично. Доказательство тому — диффузия. Сидя в своей комнате, мы очень быстро по запаху пищи определяем, что готовит мама на кухне. Распространение запахов — это пример диффузии.

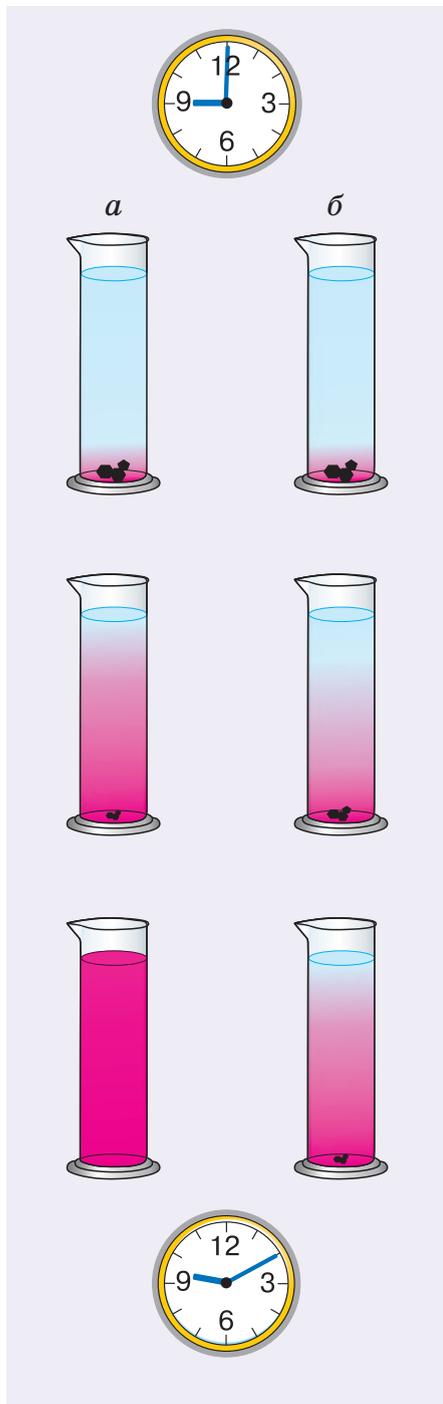


Рис. 53

В газах она идет быстрее, чем в жидкостях. Например, если всыпать в стакан с водой ложку соли, то через некоторое время соль растворится, и вода станет соленой. Но на это потребуется время (20—30 мин). Очень медленно идет диффузия в твердых телах. Нужны годы, чтобы частицы одного твердого тела проникли в другое.

### ▼ Для любознательных

Следует отметить огромную роль диффузии в природе и технике.

В природе это непрерывное перемешивание газов в земной атмосфере, не позволяющее более тяжелым газам собираться в низинах. Это минерализация воды, т. е. растворение в ней различных неорганических (минеральных) веществ. Чистая, без этих веществ (дистиллированная), вода совершенно безвкусна и мало полезна. Важна диффузия при переносе питательных веществ и кислорода в растениях и других организмах. Путем диффузии осуществляется газообмен в легких и тканях животных. Кислород, содержащийся в воздухе, поступает в кровь, которая доставляет его к клеткам. Углекислый газ из клеток выделяется в кровь, а затем в окружающую среду.

В технике диффузия используется для получения металлов с заданными свойствами. В первую очередь это стали и сплавы алюминия, широко применяемые в авиации. На диффузии основаны процессы пайки, сварки (см. рис.), склеивания материалов и др. С другими доказательствами хаотического движения частиц вы познакомитесь в 8-м и 10-м классах.



### ■ Главные выводы

1. Частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении.
2. Интенсивность теплового движения частиц вещества тем больше, чем выше температура.
3. Явление диффузии подтверждает хаотическое движение частиц и наличие промежутков между ними.

## ? Контрольные вопросы

1. Какие явления доказывают, что частицы вещества хаотично движутся?
2. Что называют тепловым движением молекул (атомов)?
3. Как экспериментально доказать, что хаотическое движение молекул (атомов) зависит от температуры?
4. Согласно теоретическим расчетам ученых, молекулы газов движутся, как правило, со скоростью в несколько сотен метров в секунду. Почему же в воздухе запахи духов или цветов распространяются с гораздо меньшей скоростью?

## ▼ Для любознательных

Рассматривая под микроскопом пыльцу растений в воде, английский ботаник Роберт Броун (1773—1858) обнаружил беспорядочное и непрерывное движение ее частиц. Не зная, как объяснить увиденное, ученый решил, что частицы пыльцы живые. Броун провел опыт, взяв вместо пыльцы мелко истолченную глину. Все повторилось, как и в случае с пыльцой. Частички покрупнее двигались медленно, реже меняя направление движения. Мелкие частички двигались быстро, беспорядочно меняя направление движения. Кроме того, исследуя данное явление, Броун обнаружил, что в горячей воде частички движутся быстрее, чем в холодной.

Ученый так и не смог объяснить причину физического явления, которое позже получило название броуновского движения. Но, несмотря на это, ботаник Броун прочно вошел в историю физики.

Позже причина броуновского движения была точно установлена. Молекулы жидкости, двигаясь хаотично, ударяются со всех сторон о броуновскую частицу. Различное число ударов с разных сторон заставляет частицы непрерывно и беспорядочно двигаться.

Броуновское движение экспериментально подтверждает реальность существования молекул и их тепловое движение.

## → Домашнее задание

В два одинаковых стакана до половины налейте подкрашенный соком свеклы водный раствор соли. Сверху по стенке осторожно долейте чистой воды. Поставьте один стакан в холодильник, другой — на стол в комнате. Периодически наблюдая за цветом жидкости в стаканах, сделайте вывод, как скорость диффузии в жидкости зависит от температуры.



## § 10.

## Взаимодействие частиц вещества

Почему многие твердые тела обладают такой большой прочностью? На стальном тросе диаметром всего 25 мм можно поднять целый тепловоз. Очень трудно разделить на куски камень. Объяснить перечисленные факты можно взаимным притяжением частиц, из которых состоят твердые тела.



Рис. 54

**Молекулы (атомы) в твердых веществах притягиваются друг к другу.**

Но почему тогда части разбитого стеклянного стакана нельзя без клея соединить в одно целое? В то же время куски пластилина легко соединяются в один кусок. *Проделайте опыт с пластилином самостоятельно.*

Объяснить эти факты можно, предположив, что притяжение молекул (атомов) проявляется лишь на малых расстояниях между ними. Действительно, если сильно нагреть стеклянные куски (рис. 54) и прижать их друг к другу, они слипнутся в одно целое. Этот факт находит широкое применение в стекольной промышленности. Из мягкого стекла изготавливают стеклянную тару и другие хозяйственные изделия.

Притягиваются друг к другу и частицы в жидкостях. Чтобы доказать это утверждение, проведем такой опыт. Подвесим на пружине чистую стеклянную пластинку. Отметим положение нижнего конца пружины указателем (рис. 55, а). Поднесем к пластинке сосуд с водой до соприкосновения ее с поверхностью воды. Будем опускать сосуд. Растяжение пружины увеличится (рис. 55, б). Это указывает на наличие сил притяжения частиц жидкости (воды) в сосуде и на поверхности стеклянной пластинки.

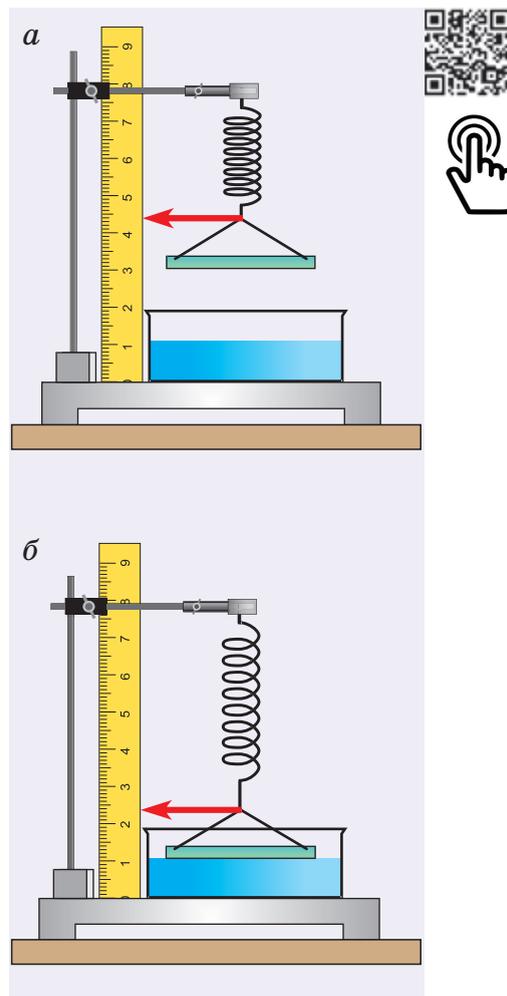


Рис. 55

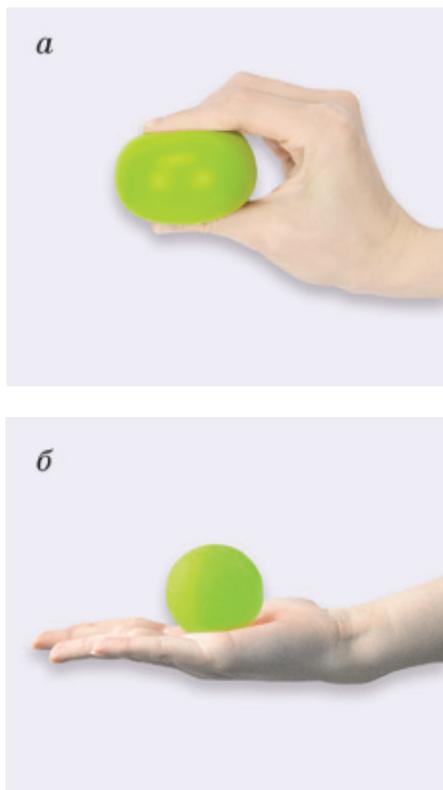


Рис. 56

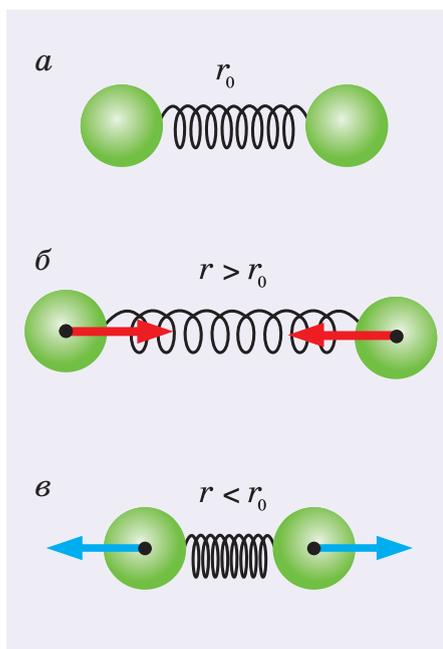


Рис. 57

А вот молекулы (атомы) газа практически не притягиваются друг к другу. Дело в том, что в газах частицы находятся на больших расстояниях, чем в жидкостях и твердых телах. Притяжение на этих расстояниях ничтожно мало. Поэтому молекулы газа разлетаются по всему предоставленному газу объему. Например, запах духов из открытого флакона распространяется по всей комнате.

А есть ли между молекулами отталкивание? Проведите такой опыт. Возьмите сплошной резиновый мячик и попробуйте его сжать (рис. 56, а). Легко ли это сделать? Стоит только перестать сжимать мячик, как он тут же восстанавливает свою форму (рис. 56, б). Значит, между частицами резины существует отталкивание. Именно отталкивание частиц затрудняло сжатие мячика. Оно же восстановило его первоначальную форму.

Очень важно понять, что притяжение и отталкивание частиц вещества проявляются лишь на малых расстояниях между ними, т. е. в твердых телах и жидкостях.

Взаимодействие двух молекул условно можно сравнить со взаимодействием двух шариков, скрепленных пружиной (рис. 57, а). При расстоянии  $r > r_0$  (пружина растянута) шарики притягиваются друг к другу (рис. 57, б), а при расстоянии  $r < r_0$  (пружина сжата) — отталкиваются (рис. 57, в).

Хотя эта модель весьма наглядна, тем не менее она имеет недостаток: на больших расстояниях притяжение, создаваемое пружиной, становится все сильнее. У молекул же, как мы отмечали ранее, оно практически исчезает.

Таким образом, на одних расстояниях (при отдалении частиц) преобладает притяжение, а на других (при сближении частиц) — отталкивание.

## ■ Главные выводы

1. Молекулы (атомы) твердых веществ и жидкостей испытывают взаимное притяжение и взаимное отталкивание.
2. При сближении молекул (атомов) твердых веществ и жидкостей преобладает взаимное отталкивание, при удалении на небольшое расстояние — взаимное притяжение.
3. У газов взаимодействием молекул (атомов) можно пренебречь.

## ? Контрольные вопросы

1. Какие известные вам факты объясняются взаимным притяжением частиц вещества? Взаимным отталкиванием?
2. Почему газ всегда занимает весь предоставленный ему объем?
3. Почему металлический трос растянуть гораздо труднее, чем резиновый таких же размеров?
4. Возьмите медицинский шприц (без иголки) и наберите в него воду. Закройте пальцем отверстие и сжимайте поршнем воду. Почему вода практически не сжимается?
5. Сожмите ластик, а затем отпустите. Что заставило ластик вернуться к первоначальной форме и размерам?
6. Почему на школьной доске пишут мелом, а не куском металла?
7. Продемонстрируйте на опыте, что сухие листы бумаги не прилипают друг к другу, а смоченные водой — прилипают. Объясните наблюдаемый в этом опыте эффект.

## ➔ Домашнее задание

Приведите в соприкосновение два куска парафиновой свечи. Соединились ли они? Почему?

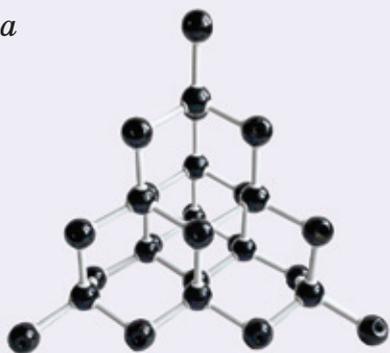
Нагрейте конец одного куска свечи на пламени спиртовки до мягкого состояния. Соедините куски. Что получилось в результате? Почему?



## § 11.

### Газообразное, жидкое и твердое состояния вещества

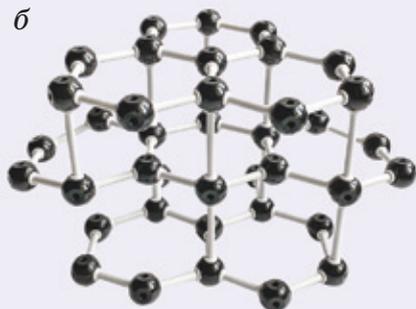
*a*



Структура алмаза



*б*



Структура графита



Притяжение и отталкивание частиц определяют их взаимное расположение в веществе. А от расположения частиц существенно зависят свойства веществ.

На рисунках 58, *a*, *б* представлены прозрачный очень твердый алмаз (бриллиант) и мягкий черный графит (из него изготавливают стержни карандашей). Мы не догадываемся, что оба вещества состоят из совершенно одинаковых атомов углерода. Просто в графите эти атомы расположены иначе, чем в алмазе.

Заметим, что на рисунках показаны не сами атомы, а их модели — шарики. В действительности никаких соединительных стержней или проволочек между частицами нет. Это условное изображение расположения атомов в веществе.

Взаимодействие частиц вещества приводит к тому, что оно может находиться в трех состояниях: твердом, жидком и газообразном. Например, лед, вода, пар (см. рис. 48 на с. 31). В трех состояниях может находиться любое вещество, но для этого нужны определенные условия: необходимые давление, температура. Например, кислород в воздухе — газ, но при охлаждении до температуры ниже  $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$  он превращается в жидкость. При температуре  $-219\text{ }^{\circ}\text{C}$  кислород — твердое вещество. Железо при нормальном давлении и комнатной температуре находится в твердом состоянии. При температуре выше  $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$  оно становится жидким, а при температуре выше  $3050\text{ }^{\circ}\text{C}$  — газообразным. Жидкая ртуть, используемая в медицинских термометрах, при охлаждении до температуры ниже  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$  становится твердой. При температуре выше  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$  ртуть превращается в пар (газ).

Рис. 58

Какими свойствами обладают вещества в различных состояниях? Начнем с газов, в которых поведение молекул (рис. 59) напоминает движение пчел в рое. Однако пчелы в рое самостоятельно изменяют направление движения и практически не сталкиваются друг с другом. А для молекул в газе такие столкновения не только неизбежны, но происходят практически непрерывно. В результате этих столкновений направления и значения скорости движения молекул изменяются.

Результатом такого движения и отсутствия взаимодействия частиц при движении является то, что газ не сохраняет ни объема, ни формы, а занимает весь предоставленный ему объем. Каждый из вас посчитает сущей нелепицей утверждения типа «Воздух занимает половину объема этой комнаты» или «Я накачал воздух в две трети объема мяча». Воздух, как и любой газ, занимает весь объем комнаты и весь объем мяча.

А какие свойства имеют жидкости? Для ответа на вопрос проведем опыт. Перельем воду из мензурки 1 в мензурку 2 (рис. 60). Форма жидкости изменилась, но объем остался тем же. Молекулы не разлетелись по всему объему, как это было бы в случае с газом. Значит, взаимное притяжение молекул жидкости существует, но оно жестко не удерживает соседние молекулы. Они колеблются и перемещаются из одного места в другое (рис. 61), чем и объясняется текучесть жидкостей.

Наиболее сильным является взаимодействие частиц в твердом теле. Оно не дает возможности частицам разойтись. Частицы лишь совершают хаотические колебательные движения около определенных положений (рис. 62). Поэтому твердые тела сохраняют и объем, и форму. Сплошной резиновый мяч будет сохранять форму шара и объем, куда бы его ни поместили: в банку, на стол и т. д.

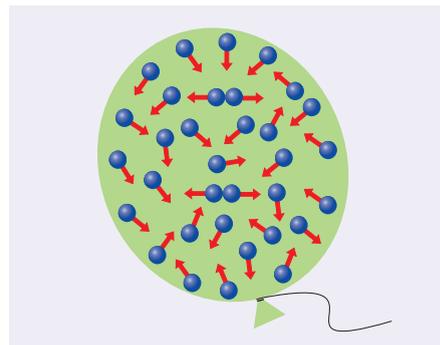


Рис. 59

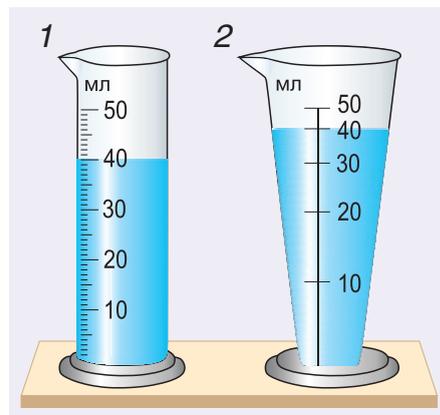


Рис. 60

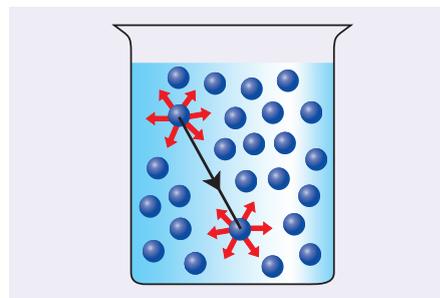


Рис. 61

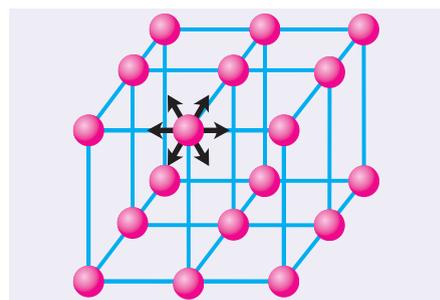


Рис. 62

### ■ Главные выводы

1. Хаотичность движения и отсутствие взаимодействия частиц при движении приводят к тому, что газы не сохраняют ни объема, ни формы.
2. Сохранение объема жидкостями и несохранение формы говорят о наличии сил притяжения между их частицами, которые действуют лишь на малых расстояниях.
3. Сохранение формы и объема твердыми телами указывает на то, что притяжение их частиц сильнее, чем частиц жидкости.

### ? Контрольные вопросы

1. Какими основными свойствами обладает газ?
2. Почему жидкость не сохраняет форму?
3. Чем отличается твердое состояние вещества от жидкого и газообразного?
4. Отличаются ли молекулы воды от молекул льда и пара?
5. Какие из перечисленных веществ в обычных условиях (при комнатной температуре и нормальном давлении) находятся в газообразном состоянии, а какие — в жидком или твердом: олово, бензин, кислород, железо, ртуть, воздух, стекло, пластмасса?
6. Может ли ртуть находиться в твердом состоянии, а воздух — в жидком? При каких условиях?

### ➔ Домашнее задание

В пластиковую бутылку объемом 0,5 л налейте доверху воду и закройте герметично крышкой. Попробуйте сжать в бутылке воду. Затем вылейте воду и снова закройте бутылку. Что находится в бутылке? Конечно, воздух. Теперь сожмите бутылку. На основании результатов опыта выскажите гипотезу о строении газов и жидкостей.



## § 12.

## Тепловое расширение

Из предыдущих параграфов вам известно, что все вещества состоят из частиц (атомов, молекул и др.). Эти частицы непрерывно хаотично движутся. При нагревании вещества движение его частиц становится более быстрым. Увеличиваются расстояния между частицами, что приводит к увеличению размеров тела.

**Изменение размеров тела при его нагревании называется тепловым расширением.** Тепловое расширение твердых тел легко подтвердить опытом. Стальной шарик свободно проходит через кольцо (рис. 63, а). После нагревания на спиртовке (рис. 63, б) шарик расширяется и застревает в кольце (рис. 63, в). После охлаждения шарик вновь свободно проходит через кольцо. Из опыта следует, что размеры твердого тела при нагревании увеличиваются, а при охлаждении — уменьшаются.

**Тепловое расширение различных твердых тел неодинаково.** Из-за теплового расширения твердых тел могут разрушаться мосты, изгибаться железнодорожные рельсы, разрываться провода. Чтобы этого не случилось, при конструировании того или иного сооружения учитывается тепловое расширение. Несущие детали мостов ставят на катки (рис. 64), способные передвигаться при изменениях длины моста зимой и летом. Рельсы на стыках имеют зазор (рис. 65). Провода линий

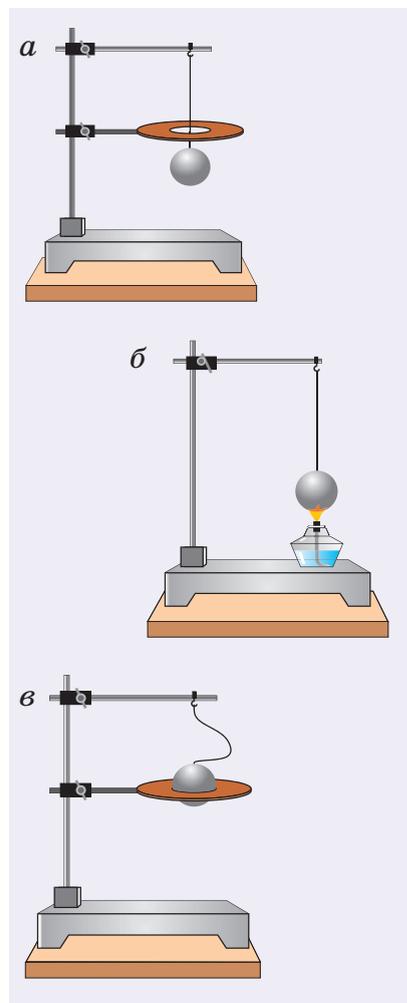


Рис. 63

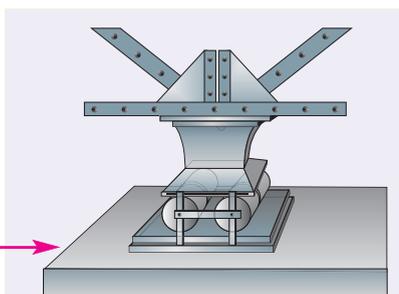


Рис. 64



Рис. 65



Рис. 66

электропередачи не натягивают сильно (рис. 66), чтобы зимой, сокращаясь, они не разорвались.

А расширяются ли при нагревании жидкости? Тепловое расширение жидкостей тоже можно подтвердить опытом. В одинаковые колбы нальем: в одну — воду, а в другую — такой же объем спирта. Колбы закроем пробками с трубками. Начальные уровни воды и спирта в трубках отметим резиновыми кольцами (рис. 67, а). Поставим колбы в сосуд с горячей водой. Уровни жидкостей в трубках станут выше (рис. 67, б). Жидкости при нагревании расширяются. Но уровень в трубке колбы со спиртом выше, чем в трубке колбы с водой. Значит, спирт расширяется больше. Следовательно, **тепловое расширение разных жидкостей, как и твердых веществ, неодинаково.**

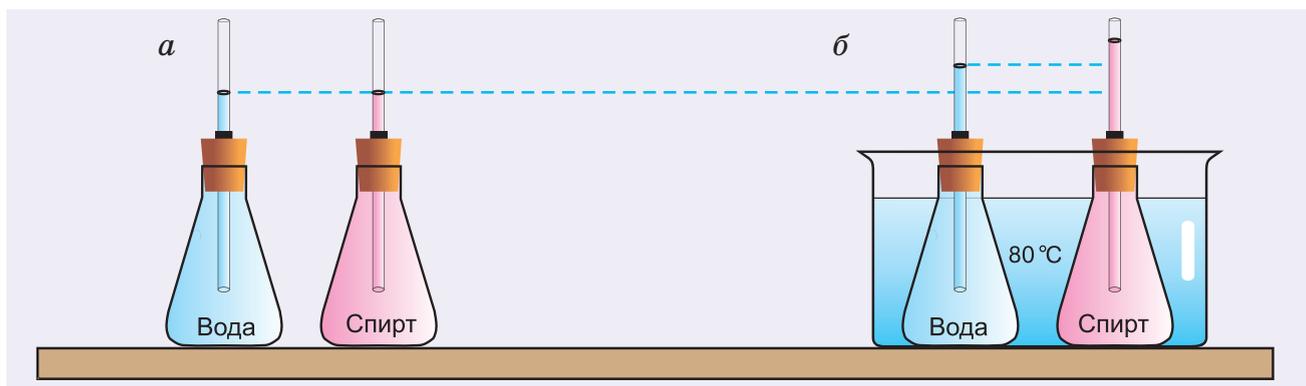


Рис. 67

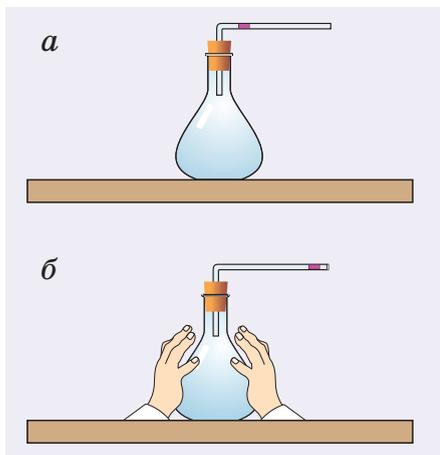


Рис. 68

А испытывают ли тепловое расширение газы? Ответим на данный вопрос с помощью следующего опыта. Закроем колбу с воздухом пробкой с изогнутой трубкой. В трубке (рис. 68, а) находится капля жидкости. Достаточно приблизить руки к колбе, как капля начинает перемещаться вправо (рис. 68, б). Это подтверждает тепловое расширение воздуха при его даже незначительном нагревании. Причем, что очень важно, **все газы, в отличие от твердых веществ и жидкостей, при нагревании расширяются одинаково.**

### ▼ Для любознательных

Нельзя после горячего чая сразу пить холодную воду или есть мороженое. Резкое изменение температуры приводит к появлению трещин на эмали зубов. Это объясняется тем, что основное вещество зуба — дентин — и покрывающая зуб эмаль при одном и том же изменении температуры расширяются неодинаково.

### ▣ Главные выводы

1. Газы, жидкости и твердые тела при нагревании расширяются.
2. Тепловое расширение разных жидкостей и разных твердых тел неодинаково.
3. Тепловое расширение всех газов одинаково.

### ? Контрольные вопросы

1. Что называют тепловым расширением?
2. Приведите примеры теплового расширения (сжатия) твердых тел, жидкостей, газов.
3. Чем отличается тепловое расширение газов от теплового расширения твердых тел и жидкостей?

### → Домашнее задание

1. Используя пластиковую бутылку и соломинку для сока, проведите дома опыт по тепловому расширению воздуха и воды. Результаты опыта опишите в тетради.

2. Возьмите 5-копеечную монету, 2 гвоздя, доску, свечу и пинцет. Гвозди вбейте в доску (рис. 69) так, чтобы монета еле проходила между ними. Держа монету пинцетом, нагрейте ее на пламени свечи. Проходит ли нагретая монета между гвоздями? Объясните результат опыта.

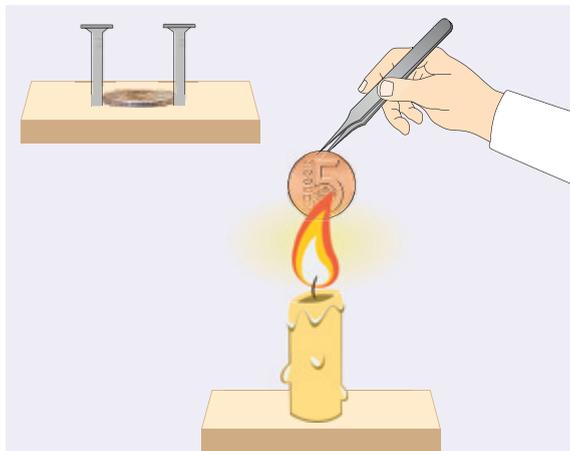


Рис. 69



## § 13.

### Температура. Измерение температуры. Термометры

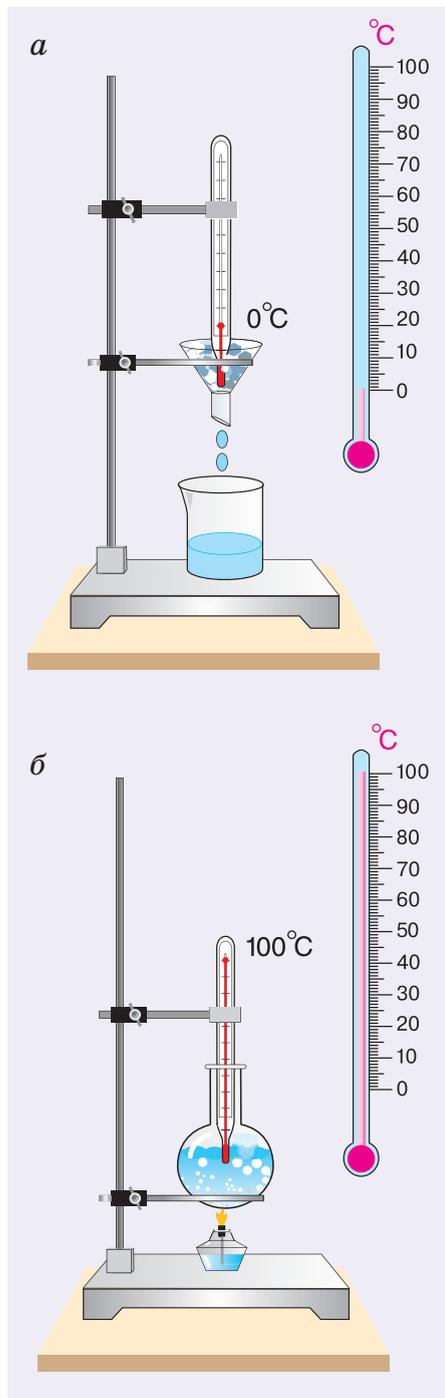


Рис. 71

Каждое утро, собираясь на работу или в школу, мы спрашиваем: «Какая на улице температура?», понимая под этим, насколько теплый или холодный наружный воздух.

Что такое температура? Как ее измерить? Достаточно ли для этого наших ощущений тепла и холода?

**Температура определяет степень нагретости тела.**

Проведем опыт. Нальем в три сосуда воду разной температуры (рис. 70). Опустим правую руку в сосуд 1 с холодной водой, а левую — в сосуд 3 с горячей водой. Через 2—3 мин обе руки опус-

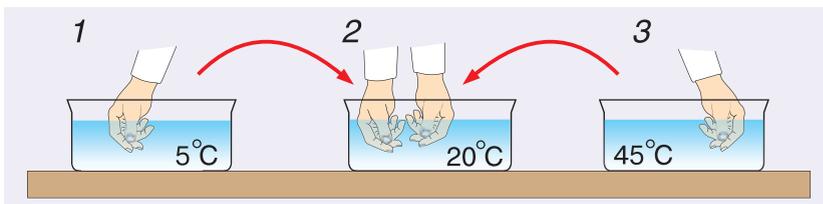


Рис. 70

тим в сосуд 2. По ощущениям правой руки вода в сосуде 2 — теплая, а по ощущениям левой — холодная. Это говорит о том, что наши ощущения субъективны. Для объективной оценки степени нагретости тела, т. е. его температуры (обозначается буквой  $t$ ), служит измерительный прибор **термометр**.

Устройство и действие самого простого термометра было основано на тепловом расширении вещества. Термометр представлял собой стеклянный баллончик, соединенный с тонкой трубкой (капилляром). Баллончик заполнялся ртутью или подкрашенным спиртом. Для изготовления шкалы определялись положения уровней жидкости в трубке при опускании баллончика в таю-

щий снег или лед (рис. 71, а) и кипящую дистиллированную воду (рис. 71, б). Положение уровня жидкости в трубке, когда баллончик был в тающем льде, принималось за нулевое, а температура тающего льда — за нуль градусов.

Второму положению уровня соответствовала температура кипящей воды, принятая за 100 градусов. Длина столбика между 0 и 100 градусами делилась на 100 равных частей (см. рис. 71, б). Одно деление означало один градус. Такая шкала впервые была предложена шведским ученым Андерсом Цельсием в 1742 г. Поэтому она называется шкалой Цельсия, а единица шкалы — градусом Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Именно такая шкала у бытовых термометров (рис. 72, а). Особенности в строении имеет медицинский термометр (рис. 72, б). Так как им измеряют температуру тела человека, то цена деления его шкалы  $C = 0,1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{дел.}}$ . Таким образом, погрешность измерения медицинским термометром в 10 раз меньше, чем бытовым термометром, у которого цена деления  $C = 1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{дел.}}$ . Шкала медицинского термометра имеет нижний и верхний пределы:  $34^{\circ}\text{C}$  и  $42^{\circ}\text{C}$ . Нормальной для здорового человека считается температура  $36,6^{\circ}\text{C}$ .

Баллончик медицинского термометра заполняется ртутью. Вблизи баллончика трубка имеет сужение, что не позволяет ртути после того, как измерение закончено и термометр остыл, вернуться назад в баллончик. Этого можно достичь только с помощью резкого встряхивания термометра.

В настоящее время все чаще используются цифровые термометры (рис. 73). Они более удобны и безопасны, чем ртутные.

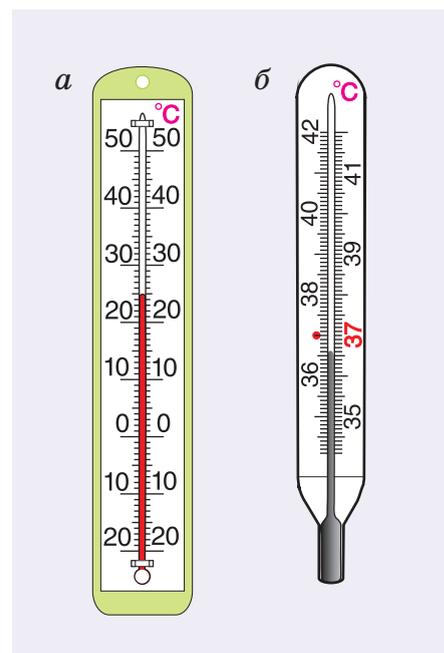


Рис. 72



Рис. 73

## □ Главные выводы

1. Температура определяет степень нагретости тела.
2. Для измерения температуры служит термометр.
3. Принцип действия термометра основан на тепловом расширении вещества.
4. Бытовые термометры в нашей республике имеют шкалу Цельсия.

## ? Контрольные вопросы

1. Какое явление используется в устройстве и действии термометра?
2. Что принято за 0 и 100 градусов по шкале Цельсия?
3. По рисунку 74 определите:
  - а) цену деления шкалы каждого термометра;
  - б) верхний и нижний пределы измерения;
  - в) показания термометров.
4. Можно ли бытовым термометром измерить температуру одной капли воды? Почему?

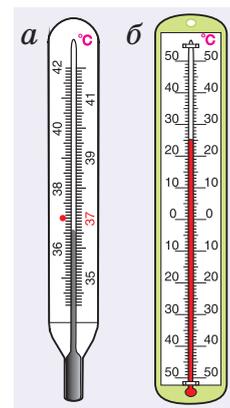
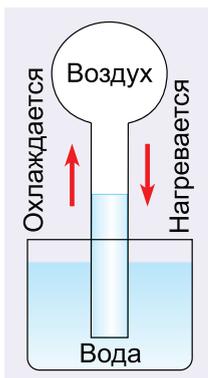


Рис. 74

## → Домашнее задание



В 1592 г. ученый Галилео Галилей (см. форзац 1) создал прибор, который можно считать родоначальником термометра. Он назывался термоскопом. Схема термоскопа представлена на рисунке 75. Уровень воды в трубке зависел от температуры воздуха в шарике.

Используя пластиковую бутылку (вместо шарика) и соломинку для сока, самостоятельно изготовьте термоскоп. Наблюдайте, как уровень воды в соломинке зависит от температуры воздуха в комнате, на улице. Чем, на ваш взгляд, неудобен данный прибор? Что у него общего с бытовым термометром?

Рис. 75



## Темы проектных заданий

1. Как вырастить кристалл соли в домашних условиях?
2. Явления диффузии, происходящие на кухне.
3. Принцип работы термометра. Шкалы термометров. Ртутный термометр.

# 3



## Движение и силы

- Почему гром мы слышим позже, чем видим вспышку молнии?
- Почему нельзя мгновенно остановить автомобиль?
- С какой силой нас притягивает Земля?
- Как передвинуть дом?





## § 14.

### Механическое движение. Относительность покоя и движения



Рис. 76



Рис. 77



Рис. 78

Вы уже знаете, каким сложным является хаотическое движение молекул. В повседневной жизни мы встречаемся с более простыми видами движения. Двигутся люди, автомобили (рис. 76), самолеты, Солнце, Луна и другие тела. Окружающий нас мир немислим без движения. Характеристики многих движений можно легко определить и описать с помощью несложных математических формул.

Как установить, движется или нет данное физическое тело? Рассмотрим пример. Вы стоите на остановке и вдаль видите автобус (рис. 77). Двигается он или нет? Несмотря на то что вращения колес не видно, вы уверенно определяете, что автобус движется. Изменяется с течением времени его положение относительно киоска, деревьев, домов, неподвижных относительно поверхности земли. Точно так же мы судим о движении облаков и птиц в небе, рыб в аквариуме, футболистов на поле, поездов и любых других тел.

**Изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени называется механическим движением. Следовательно, движение происходит в пространстве и во времени.**

Рассмотрим еще один пример. Вы едете в электричке (рис. 78). Можно ли сказать, что, сидя в ней, вы находитесь в состоянии покоя? И да, и нет. Да — потому, что вы не движетесь по электричке. С течением времени ваше положение относительно электрички не меняется. Нет — потому, что вместе с электричкой вы движетесь относительно поверхности земли. А если электричка остановилась? Теперь вы находитесь в состоянии покоя относительно электрички и поверхности земли, но движетесь вместе с Землей вокруг Солнца (рис. 79), перемещаясь за каждую секунду примерно на 30 км относительно звезд.

Таким образом, **покой и движение относительны**. Относительны и характеристики движения. Это легко увидеть на опыте. Укрепите светоотражатель (фликер) на ободе колеса вашего велосипеда. Какова будет кривая (ее называют *траекторией*), которую опишет фликер при движении колеса? Относительно вас или вашего друга, едущего рядом с вами, фликер будет двигаться по окружности. А стоящий человек, мимо которого вы проезжаете, увидит, что фликер описывает не окружность, а сложную кривую (рис. 80). Следовательно, траектория тоже относительна.

В дальнейшем мы в основном будем рассматривать механическое движение тел относительно поверхности земли.



Рис. 79

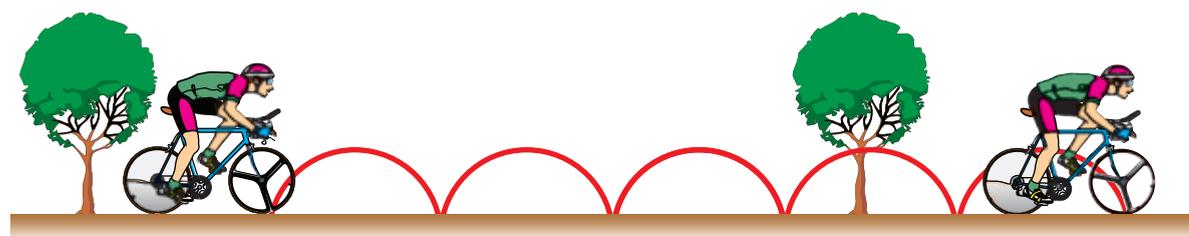


Рис. 80

### ■ Главные выводы

1. Механическое движение — это изменение положения тела в пространстве относительно другого тела или тел с течением времени.
2. Механическое движение и покой относительны.

### ? Контрольные вопросы

1. Что такое механическое движение?
2. Почему нельзя определить, движется тело или нет, не указывая тела, относительно которых рассматривается движение?
3. Движется ли человек, стоящий на тротуаре, относительно проезжающего автобуса?
4. Относительно каких тел человек, стоящий на плывущем по реке плоту: а) движется; б) находится в состоянии покоя?
5. Что можно сказать о движении автомобиля относительно комбайна, из бункера которого идет перегрузка зерна в кузов автомобиля без остановки комбайна?



## § 15.

### Траектория, путь, время. Единицы пути и времени



Рис. 81



Рис. 82

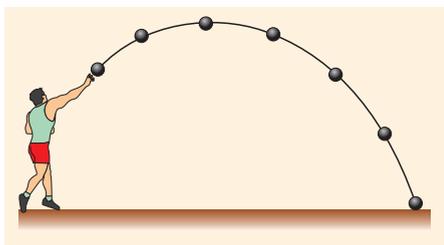


Рис. 83

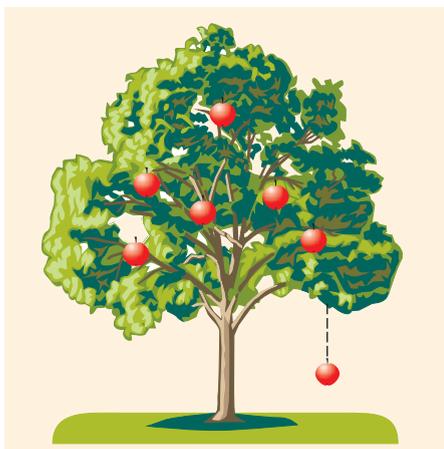


Рис. 84

Для решения научных и практических задач необходимо уметь описывать механическое движение тела или его частей, определять характеристики движения и устанавливать связи между ними.

Какими физическими величинами описывается механическое движение?

Проведите мелом по доске. Мел при движении описывает линию, которая хорошо видна на доске.

В голубом небе часто отчетливо видны белые полосы позади летящих самолетов (рис. 81). Быстро мчащийся катер оставляет на поверхности воды пенную дорожку (рис. 82).

**Линия, которую описывает тело при своем движении, называется траекторией.**

Мы привели примеры движений, когда траектория — видимая линия. Но чаще всего она невидима. Однако траекторию всегда можно изобразить. Для этого нужно отметить точками положения движущегося тела в различные моменты времени, а затем соединить эти точки. Несложно, например, представить траекторию летящего ядра (рис. 83).

Если траектория движения — прямая линия, движение называется прямолинейным. Например, такова траектория падающего с дерева яблока (рис. 84). Если же траектория — кривая линия, то движение называется криволинейным (см. рис. 83).

Длина той части траектории, которую описывает тело за данное время, называется путем, пройденным телом за это время.

Обозначается путь обычно буквой  $s$ . Путь — это физическая величина. Его можно измерить или вычислить по формуле. **Основной единицей пути в СИ является 1 метр (1 м).** На практике путь часто измеряют в кратных единицах — километрах — или в дольных — дециметрах, сантиметрах и др.

А что такое время движения? Допустим, вы отправляетесь в путешествие на поезде «Минск — Москва». Поставим вопрос: за какое время поезд пройдет путь  $s = 212$  км от Минска до Орши? Ответить на этот вопрос очень легко. Во-первых, нужно знать момент времени, когда поезд отправляется из Минска. Обозначим его буквой  $t$  с индексом 1, т. е.  $t_1$ . Во-вторых, нужно знать момент времени, когда поезд прибывает в Оршу. Обозначим его  $t_2$ . Время, за которое поезд проходит путь от Минска до Орши, равно:

$$t = t_2 - t_1.$$

Так, если в нашем примере  $t_1 = 20$  ч 10 мин,  $t_2 = 23$  ч 15 мин, то  $t = 3$  ч 5 мин.

**Основной единицей времени в СИ является 1 секунда (1 с).** Иногда удобнее использовать кратные единицы времени: минуту (мин) и час (ч). Существуют и такие единицы времени, как сутки (сут), год (г.). Вы, конечно, знаете, что одни сутки равны 24 часам, один год равен 365 (366) суткам.

Для измерения времени служат различные приборы, например метроном (рис. 85), часы (рис. 86), секундомер (рис. 87).

Для практических целей полезно научиться отсчитывать про себя секунды, произнося числа через равные интервалы времени.

При проведении лечебных процедур иногда необходимо фиксировать время их протекания, например 1 мин или 5 мин. В таких случаях удобно использовать песочные часы (рис. 88).

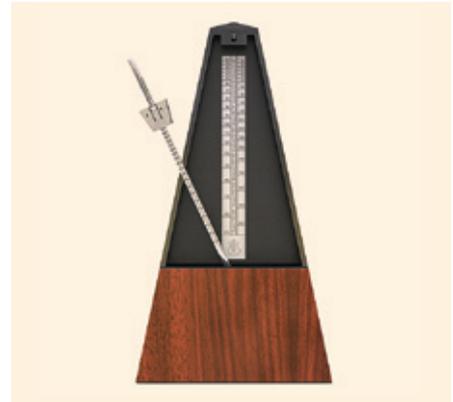


Рис. 85



Рис. 86



Рис. 87



Рис. 88

### ▼ Для любознательных

Для измерения пройденного пути в автомобилях имеется специальный прибор — одометр (от греч. *odos* — дорога и *metron* — мера) (см. рис.). Одометр включает:

- датчик, фиксирующий обороты колеса;
- счетчик, подсчитывающий обороты;
- индикатор, фиксирующий путь, который проехал автомобиль.



Одометр

### ■ Главные выводы

1. Траектория — линия, которую описывает тело при своем движении.
2. Если траектория — прямая линия, то движение называется прямолинейным, если траектория — кривая линия, то движение криволинейное.
3. Путь — длина той части траектории, которую описывает тело за данное время.

### ? Контрольные вопросы

1. Чем путь отличается от траектории?
2. В каких единицах измеряется путь?
3. В каких единицах измеряется время?
4. Как понимать следующую запись:  $t = 150$  с? Выразите это время в минутах.
5. Когда (зимой или летом) охотнику, как правило, проще обнаружить зверя? Почему?



6. Какова траектория конца лопасти пропеллера спортивного самолета:
  - а) относительно взлетной площадки;
  - б) относительно пилота самолета?



## § 16.

### Равномерное движение. Скорость. Единицы скорости

Среди всего разнообразия движений тел наиболее просто описывается равномерное прямолинейное движение. Что представляет собой это движение? Как его охарактеризовать?

Рассмотрим пример. Девочка на санках спускается с горки. Понаблюдаем за движением нескольких точек, например  $A$ ,  $B$ ,  $C$  (рис. 89). Эти точки движутся совершенно одинаково, описывая равные траектории. **Движение, при котором все точки тела описывают одинаковые по форме и равные по длине траектории, называется поступательным.** А если тело движется поступательно, нужно ли изучать движение всего тела или достаточно изучить движение только одной его точки? Нет, не нужно, ведь все точки (рис. 89, 90) движутся совершенно одинаково.

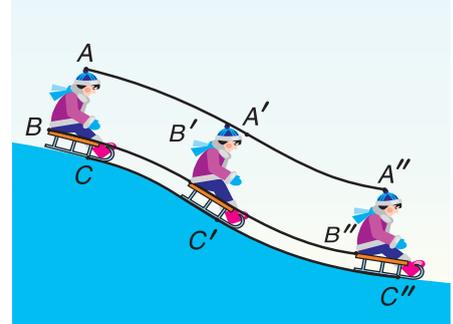


Рис. 89

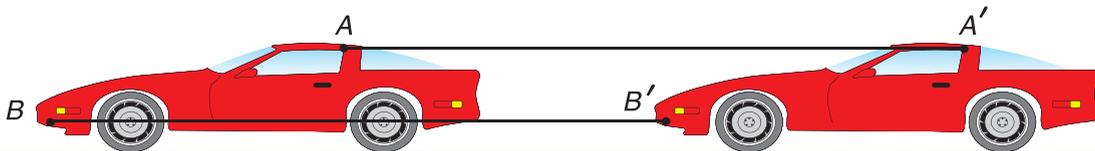


Рис. 90

В 7-м классе мы будем изучать движение тела, не рассматривая его форму, размеры, т. е. будем моделировать тело точкой.

Как определить, какой путь пройдет тело при движении за данное время? Пусть тележка (рис. 91) движется прямолинейно. Будем отмечать ее положения, точнее положения точки  $A$ , через равное время. Это можно сделать, установив на тележке капельницу с вытекающими через равное время, например через 2 с, каплями. Определим пути, проходимые тележкой за  $t = 2$  с на первом, втором, третьем и последующих участках движения.

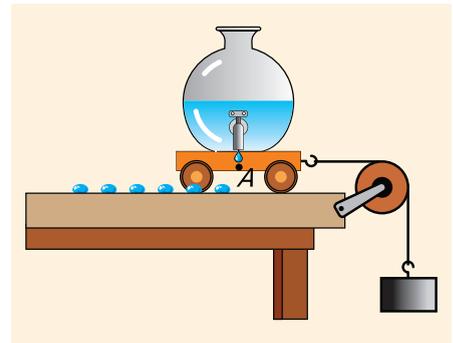
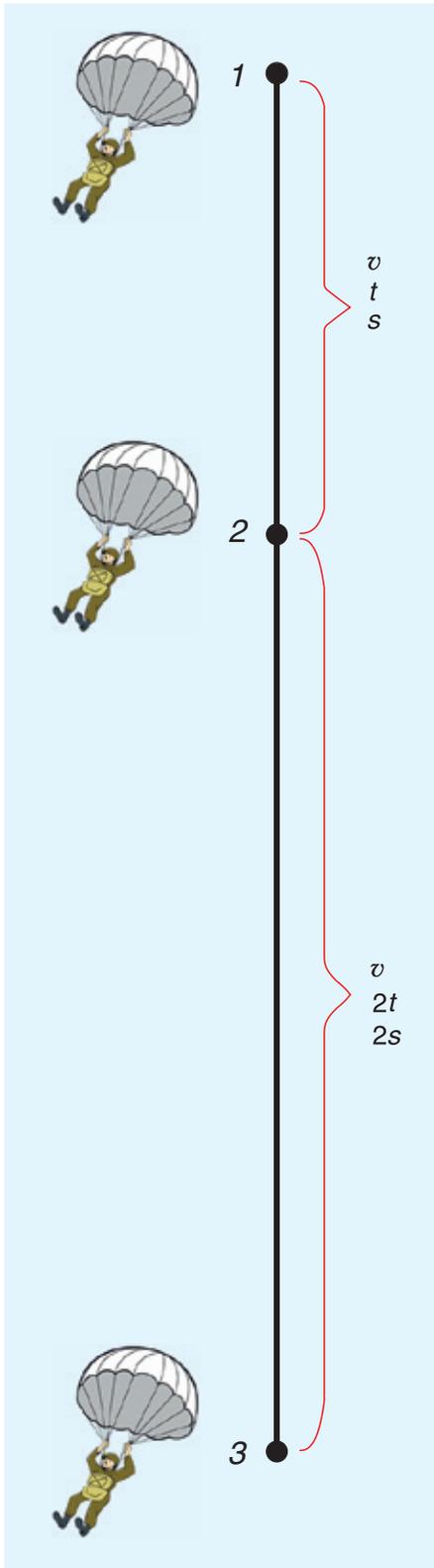


Рис. 91



Подобрав груз, можно достичь того, что пути, пройденные тележкой за равное время  $t_1 = t_2 = t_3 = \dots = 2 \text{ с}$ , окажутся равными  $s_1 = s_2 = s_3 = \dots = 0,4 \text{ м}$ . Если уменьшить время, то во столько же раз уменьшатся и проходимые пути.

**Движение, при котором тело за любое равное время проходит равный путь, называется равномерным.**

Найдем отношения пути к соответствующему времени:

$$\frac{s_1}{t_1} = \frac{0,4 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \frac{s_2}{t_2} = \frac{0,4 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\frac{s_3}{t_3} = \frac{0,4 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Величина  $\frac{s}{t}$  — новая физическая величина, называемая *скоростью*. Обозначается скорость буквой  $v$ .

Тогда для равномерного прямолинейного движения можно записать формулу:

$$\text{скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}}, \quad \text{или} \quad v = \frac{s}{t}. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что **скорость равномерного прямолинейного движения есть физическая величина, равная отношению пути ко времени, за которое этот путь пройден.**

Из формулы (1) легко найти путь, пройденный за любое время, и время:

$$s = vt; \quad (2)$$

$$t = \frac{s}{v}. \quad (3)$$

На примере с капельницей вы убедились, что при равномерном прямолинейном движении скорость является постоянной величиной.

При равномерном прямолинейном движении с увеличением времени движения увеличивается пройденный путь (рис. 92), но скорость остается постоянной.

Рис. 92

Значит, скорость является характеристикой движения. Теперь можно дать еще одно определение равномерного прямолинейного движения, используя скорость. **Равномерное прямолинейное движение** — это движение по прямой с постоянной скоростью.

Основной единицей скорости в СИ является **1 метр в секунду** ( $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ). На практике часто используют другие единицы. Например, скорость движения обычных транспортных средств (автобуса, поезда, самолета и др.) удобно выражать в километрах в час ( $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ). Скорость полета космических ракет, спутников (рис. 93) выражают в километрах в секунду ( $\frac{\text{км}}{\text{с}}$ ). При решении задач, как правило, все физические величины выражают в основных единицах СИ. Покажем это на примере.

Пусть автомобиль движется по шоссе со скоростью  $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Выразим эту скорость в метрах в секунду ( $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ):

$$v = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 72 \cdot \frac{1 \text{ км}}{1 \text{ ч}} = 72 \cdot \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{72 \text{ м}}{3,6 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость движения пешехода  $v = 5,4 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . *Выразите ее самостоятельно в метрах в секунду ( $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ).*

Максимальная скорость движения в природе — скорость распространения света в воздухе (рис. 94). Она равна  $299\,792\,458 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 300\,000\,000 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Вас не удивило огромное значение этой скорости? Сравните ее со скоростью звука в воздухе —  $v_{\text{зв}} \approx 332 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Теперь легко объяснить, почему гром вы слышите позже, чем видите молнию, хотя молния и гром возникают практически одновременно.

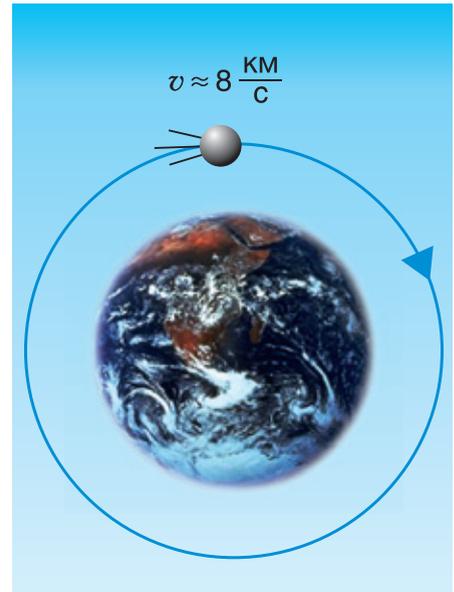


Рис. 93

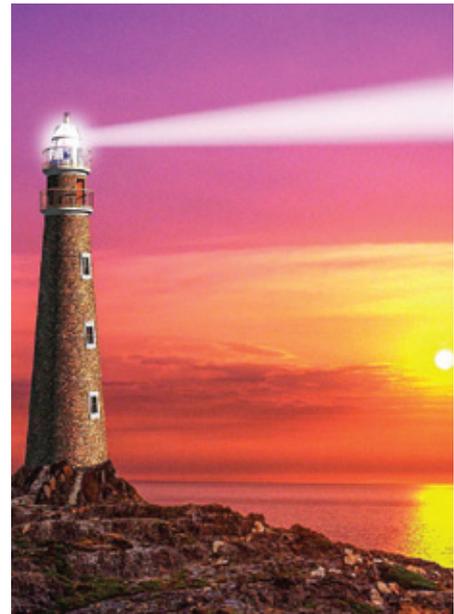
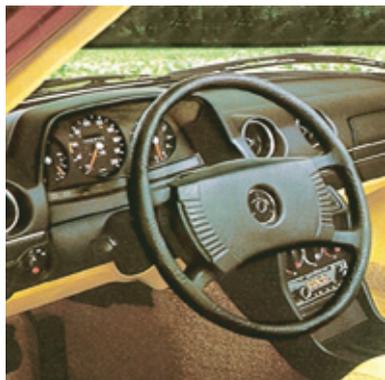


Рис. 94



Из формулы  $v = \frac{s}{t}$  следует, что для нахождения скорости нужно знать путь и время, за которое этот путь пройден. Но люди изобрели и широко применяют приборы, которые непосредственно показывают скорость, например, стрелкой на циферблате. Такие приборы называются *спидометрами* (рис. 95).

Если скорость движения автомобиля равна  $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , а самолета —  $v_2 = 900 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , то за одно и то же время самолет преодолет в 10 раз больший путь, а это значит, что самолет движется в 10 раз быстрее автомобиля.

Таким образом, скорость характеризует быстроту движения, т. е. показывает, как быстро тело меняет свое положение в пространстве относительно других тел.

Рис. 95

### ■ Главные выводы

1. Скорость — количественная характеристика быстроты движения.
2. Определить скорость движения можно, разделив пройденный путь на затраченное время.
3. Если скорость движения постоянна, то движение равномерное.

### ? Контрольные вопросы

1. Какое движение называют поступательным?
2. В каком случае механическое движение можно назвать равномерным?
3. Что показывает скорость движения?
4. Можно ли в определении равномерного движения в сочетании слов «за любое равное время» убрать слово «любое»? Почему?
5. Зависит ли скорость равномерно движущегося тела от времени? Почему?



## § 17.

### Графики пути и скорости при равномерном прямолинейном движении

Можно ли выразить связь пути  $s$  и времени  $t$  не через формулы, а каким-либо другим способом? Да, для этого используются графики.

Поясним суть графического метода на конкретном примере. Пусть самолет (рис. 96) движется равномерно и прямолинейно со скоростью  $v = 900 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Опишем движение самолета графически, т. е. построим графики зависимости пути и скорости движения самолета от времени движения.

Путь  $s$  от начального момента времени  $t_0$  до момента времени  $t$  равен  $v(t - t_0)$ . Начальный момент времени  $t_0$  примем за нуль ( $t_0 = 0$ ). Тогда формулой пути будет:  $s = vt$ .

Найдем значения пути  $s$  для различных значений времени  $t$  и занесем их в таблицу 1.

Например, если  $t = 3$  ч, то

$$s = 900 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 3 \text{ ч} = 2700 \text{ км.}$$

Теперь построим график зависимости пути от времени. По горизонтальной оси (рис. 97) в определенном масштабе (например, 1 см — 1 ч) будем откладывать время движения, а по вертикальной оси (в масштабе 1 см — 900 км) — соответствующий путь.

Прямая I выражает графическую зависимость пути от времени равномерного движения самолета. Эту прямую называют *графиком пути*. График пути напоминает известный вам из математики график функции  $y = kx$ , выражающей прямую пропорциональную зависимость  $y$  от  $x$ .

Ценность графика пути в том, что он, как и соотношение  $s = vt$ , позволяет решить главную



Рис. 96

Таблица 1

Время $t$ , ч	0	1	2	3	4	5
Путь $s$ , км	0	900	1800	2700	3600	4500

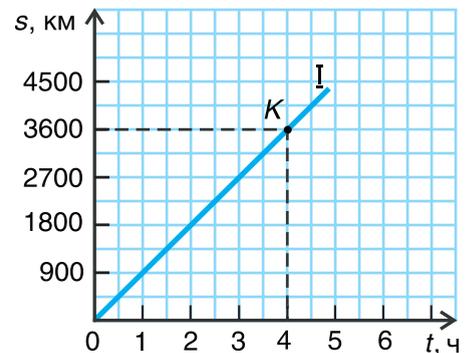


Рис. 97

Таблица 2

$t, \text{ч}$	0	1	2	3	4	5
$v, \frac{\text{км}}{\text{ч}}$	900	900	900	900	900	900

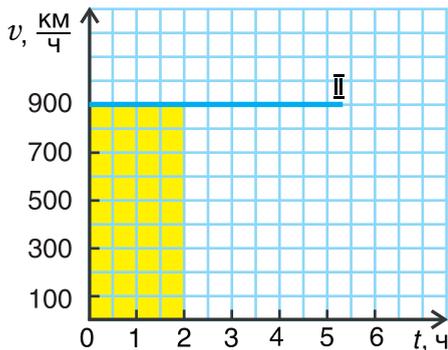


Рис. 98

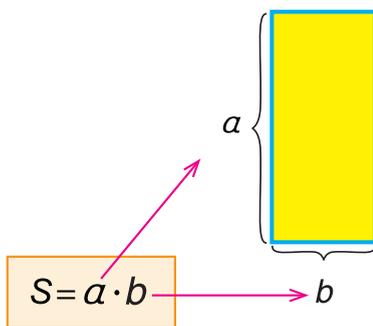


Рис. 99

задачу — найти путь  $s$ , пройденный телом за произвольное время  $t$ .

Например, найдем путь самолета за время  $t = 4$  ч. Для этого из точки на горизонтальной оси, соответствующей времени  $t = 4$  ч (см. рис. 97), восстановим перпендикуляр до пересечения с графиком (точка  $K$ ). Из найденной точки  $K$  проведем перпендикуляр к вертикальной оси и получим ответ без вычислений. Путь  $s = 3600$  км.

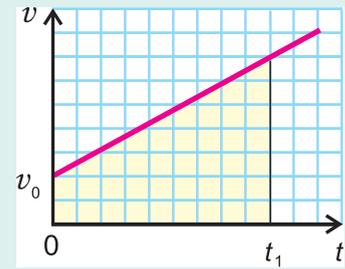
А что представляет собой *график скорости*? Он выражает зависимость скорости от времени. Так как скорость с течением времени не изменяется, то различным моментам времени  $t$  соответствует одно и то же значение скорости  $v$ . Составим таблицу 2 и построим прямую, выражающую зависимость скорости от времени, откладывая по горизонтальной оси время, а по вертикальной оси — скорость (рис. 98).

График скорости равномерного прямолинейного движения — прямая, параллельная оси времени.

Прямая II изображает график скорости движения самолета. Что дает график скорости? Он не только показывает значение скорости, но и позволяет найти пройденный путь. Рассчитаем путь самолета за время  $t = 2$  ч. Согласно формуле  $s = vt$  этот путь  $s = 900 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 2 \text{ ч} = 1800$  км. Посмотрим на это произведение с точки зрения геометрии. Первый множитель  $\left(900 \frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$  выражает одну сторону закрашенного прямоугольника (рис. 98), второй (2 ч) — другую. Из математики вы уже знаете, что перемножением сторон  $a$  и  $b$  находят площадь  $S$  прямоугольника (рис. 99). Конечно, площадь не есть путь, речь идет только о численном равенстве. **Пройденный путь численно равен площади фигуры под графиком скорости.**

▼ Для любознательных

Площадью фигуры под графиком скорости определяется путь не только при равномерном прямолинейном, но и при любом другом движении. Например, путь за время  $t_1$  (см. рис.) численно равен площади закрашенной фигуры:  $s = S_{\text{трапеции}}$ .



▣ Главные выводы

1. График пути выражает зависимость пройденного пути от времени движения тела.
2. Путь при равномерном прямолинейном движении можно определить по формуле  $s = vt$ , по графику пути или с помощью графика скорости.

? Контрольные вопросы

1. Что выражает график пути?
2. Для какого движения график пути представляет собой прямую?
3. Как по графику скорости определить пройденный путь?
4. В каком из движений, графики пути которых представлены на рисунке 100, тело имело большую скорость?
5. В каком из движений (рис. 100) на прохождение одного и того же пути затрачено больше времени?
6. В каком из движений, графики скорости которых представлены на рисунке 101, пройден больший путь за одно и то же время?

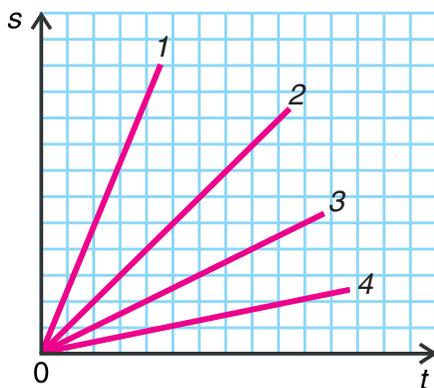


Рис. 100

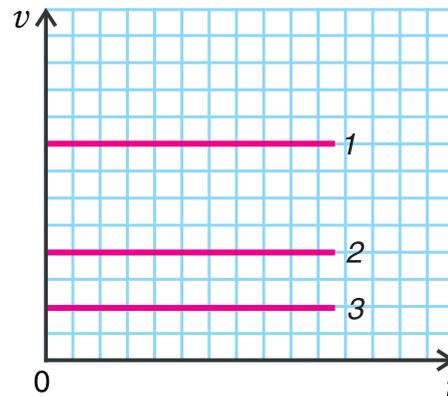


Рис. 101



### Примеры решения задач

1. Легковой и грузовой автомобили равномерно движутся в одном направлении по параллельным полосам прямолинейного участка шоссе. Скорость движения легкового автомобиля  $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , грузового —  $v_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Каким будет расстояние между автомобилями через время  $t = 3,0$  мин, если в начальный момент автомобили находились рядом?

Запишем условие и выразим величины через основные единицы СИ.

Дано:

$$v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

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

$$t = 3,0 \text{ мин} = 180 \text{ с}$$

$$l = ?$$

Решение

Найдем путь, который проехал каждый из автомобилей за время  $t$ :

$$s_1 = v_1 t; \quad s_2 = v_2 t.$$

Расстояние между автомобилями:

$$l = s_1 - s_2 = (v_1 - v_2)t.$$

Подставим значения и вычислим:

$$l = \left(25 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right) \cdot 180 \text{ с} = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 180 \text{ с} = 900 \text{ м} = 0,90 \text{ км}.$$

Ответ:  $l = 0,90$  км.

2. Графики зависимости пути от времени равномерных прямолинейных движений пешехода Димы (1) и велосипедиста Пети (2) представлены на рисунке 102. Во сколько раз отличаются скорости движения мальчиков?

Решение

Из графиков следует, что за время  $t = 1$  мин Дима прошел путь  $s_1 = 100$  м, а Петя проехал путь  $s_2 = 200$  м.

Скорость движения Димы:

$$v_1 = \frac{s_1}{t} = \frac{100 \text{ м}}{1 \text{ мин}} = 100 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Скорость движения Пети:

$$v_2 = \frac{s_2}{t} = \frac{200 \text{ м}}{1 \text{ мин}} = 200 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$



Рис. 102

Отношение:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{200 \frac{\text{м}}{\text{мин}}}{100 \frac{\text{м}}{\text{мин}}} = 2.$$

Этот же ответ можно было получить проще:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{s_2}{t} : \frac{s_1}{t} = \frac{s_2}{s_1}.$$

Из графика для одного и того же момента времени, например  $t = 1$  мин (либо 2 мин и т. д.), определяем пути  $s_2$  и  $s_1$ . Тогда

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{200 \text{ м}}{100 \text{ м}} = 2.$$

Ответ: скорость движения Пети на велосипеде в 2 раза больше скорости движения Димы пешком.

#### Упражнение 4

1. Какая из скоростей больше:

а)  $v_1 = 20 \frac{\text{км}}{\text{мин}}$  или  $v_2 = 900 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ; б)  $v_3 = 200 \frac{\text{см}}{\text{с}}$  или  $v_4 = 7,2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ?

2. Автобус проехал равномерно путь  $s = 14,0$  км за время  $t = 0,20$  ч. С какой скоростью ехал автобус?

3. Человек услышал гром на  $t = 13$  с позже, чем увидел молнию. На каком расстоянии от человека вспыхнула молния?

4. Туристы на байдарке со скоростью  $v_1 = 18 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  и рыбак на резиновой лодке со скоростью  $v_2 = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  равномерно переплывают озеро шириной  $l = 400$  м. Во сколько раз отличаются времена, затраченные на их переправу? Решите задачу двумя способами. Какая величина в условии задачи несущественна? Почему?

5. Автомобиль, движущийся по прямолинейной трассе с постоянной скоростью  $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , обгоняет мотоцикл, имеющий скорость  $v_2 = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Через какое время после обгона расстояние между ними составит  $s = 3$  км?

6. Двое друзей отправились на озеро искупаться. Один едет на велосипеде со скоростью  $v_1 = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , другой — на скутере со скоростью  $v_2 = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . На сколько времени один из друзей придет на озеро раньше, если путь до озера  $s = 5,0$  км?



## § 18.

### Неравномерное (переменное) движение. Средняя скорость



Рис. 103



Рис. 104



Рис. 105

Проанализируем движение автобуса. Он уменьшает скорость движения перед остановкой. Затем в течение какого-то времени стоит на остановке, т. е. скорость его движения равна нулю, после чего скорость увеличивается. Значит, скорость движения автобуса изменяется, т. е. является переменной величиной.

**Движение, при котором скорость изменяется, называется неравномерным (переменным).**

Практически все движения, наблюдаемые в природе и технике, — неравномерные. С изменяющейся скоростью движутся, например, люди, птицы (рис. 103), дельфины (рис. 104), поезда, падают яблоки (рис. 105). Но как же тогда характеризовать это движение?

Неравномерное движение характеризуется *средней скоростью*. Как определить среднюю скорость? Рассмотрим пример. Вы едете на экскурсию в Брест поездом. Поезд проходит от Минска до Бреста путь  $s = 330$  км. На прохождение этого пути затрачивается время  $t = 4,5$  ч. В течение данного времени поезд стоит на станциях, движется то с увеличивающейся, то с уменьшающейся скоростью.

**Среднюю скорость находят путем деления всего пути на все время, за которое этот путь пройден.** Обозначим среднюю скорость  $\langle v \rangle$  и запишем формулу:

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

Тогда поезд «Минск — Брест» движется со средней скоростью

$$\langle v \rangle = \frac{330 \text{ км}}{4,5 \text{ ч}} \approx 73 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Вас не удивило, что мы использовали формулу равномерного движения? Да, действительно,

формально мы нашли среднюю скорость так, как будто поезд весь путь  $s = 330$  км двигался равномерно с постоянной скоростью  $v = 73 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Это, конечно же, не означает, что он на самом деле двигался равномерно. На отдельных участках пути скорость движения поезда была как значительно большей ( $120 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ), так и меньшей, чем  $73 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , и даже равной нулю (рис. 106).

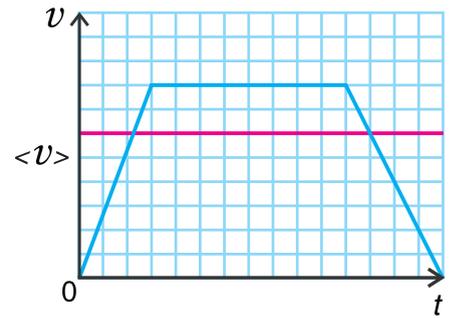


Рис. 106

▼ Для любознательных

Средняя скорость дает лишь приблизительное представление о быстроте движения тела. Описание переменного движения более сложно по сравнению с описанием равномерного.

Например, если скорость поезда на участке разгона возрастает от 0 до  $90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , то в различных точках траектории она принимает различные значения из этого промежутка. Таким образом, можно говорить не только о средней скорости на данном участке траектории, но и о скорости в данной точке траектории или в данный момент времени. Таковую скорость называют в физике *мгновенной скоростью*.

▣ Главные выводы

1. Характеристикой неравномерного движения является средняя скорость.
2. Для вычисления средней скорости нужно путь разделить на все время, затраченное на прохождение этого пути.

? Контрольные вопросы

1. Чем отличается неравномерное движение тела от равномерного?
2. Как найти среднюю скорость неравномерного движения?
3. Можно ли применять понятие «средняя скорость» для равномерного движения?
4. Зависит ли средняя скорость неравномерного движения от величины выбранного времени? Приведите пример.
5. Камень упал с высоты  $h = 2$  м. Одинакова ли его средняя скорость на первом, втором метрах падения и на всем пути?





## Примеры решения задач

1. Катя прошла путь  $s_1 = 1,20$  км за время  $t_1 = 25$  мин. Затем остановилась и в течение времени  $t_2 = 20$  мин разговаривала с подругой, после чего прошла путь  $s_2 = 0,80$  км за время  $t_3 = 15$  мин. Определите среднюю скорость движения Кати.

Дано:

$$s_1 = 1,20 \text{ км}$$

$$s_2 = 0,80 \text{ км}$$

$$t_1 = 25 \text{ мин}$$

$$t_2 = 20 \text{ мин}$$

$$t_3 = 15 \text{ мин}$$

$$\langle v \rangle = ?$$

Решение

Весь путь, который прошла Катя:

$$s = s_1 + s_2.$$

Все затраченное время:

$$t = t_1 + t_2 + t_3.$$

Средняя скорость движения Кати:

$$\langle v \rangle = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2 + t_3}.$$

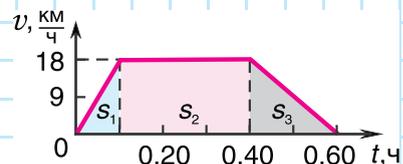
Вычислим  $\langle v \rangle$ :

$$\langle v \rangle = \frac{1,20 \text{ км} + 0,80 \text{ км}}{25 \text{ мин} + 20 \text{ мин} + 15 \text{ мин}} = \frac{2,0 \text{ км}}{60 \text{ мин}} = \frac{2,0 \text{ км}}{1,0 \text{ ч}} = 2,0 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ:  $\langle v \rangle = 2,0 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ .



2. По графику скорости (рис. 107) определите путь и среднюю скорость движения велосипедиста за время  $t = 0,60$  ч.



Решение

Рис. 107

Искомый путь численно равен площади фигуры под графиком скорости. Путь  $s_1$  велосипедист проехал за время  $t_1 = 0,10$  ч. Он численно равен площади прямоугольного треугольника, закрашенного в голубой цвет:

$$s_1 = S_{\text{треуг}} = \frac{1}{2} v_1 t_1 = \frac{1}{2} \cdot 18 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 0,10 \text{ ч} = 0,90 \text{ км}.$$

Аналогично можно найти пути  $s_2$  и  $s_3$ :

$$s_2 = S_{\text{прямоуг}} = 18 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 0,30 \text{ ч} = 5,4 \text{ км}; \quad s_3 = S_{\text{треуг}} = \frac{1}{2} \cdot 18 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 0,20 \text{ ч} = 1,8 \text{ км}.$$

Весь путь:  $s = s_1 + s_2 + s_3 = 0,90 \text{ км} + 5,4 \text{ км} + 1,8 \text{ км} = 8,1 \text{ км}$ .

Средняя скорость движения велосипедиста:

$$\langle v \rangle = \frac{s}{t} = \frac{8,1 \text{ км}}{0,60 \text{ ч}} = 13,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \approx 14 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ:  $\langle v \rangle = 14 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ .

### Упражнение 5

1. Яблоко падало с высоты  $h = 2,2$  м в течение времени  $t = 0,67$  с. Была ли скорость падения постоянной? Найдите ее среднее значение.

2. По данным графика (рис. 108) опишите движение мухи.

3. Группа туристов прошла путь  $s_1 = 4$  км за время  $t_1 = 0,8$  ч, затем в течение времени  $t_2 = 0,7$  ч отдыхала. Оставшиеся  $s_2 = 2$  км пути она прошла за время  $t_3 = 0,5$  ч. Определите среднюю скорость движения группы.

4. График скорости движения шарика по наклонному желобу представлен на рисунке 109. Найдите среднюю скорость движения шарика за время  $t = 4$  с.

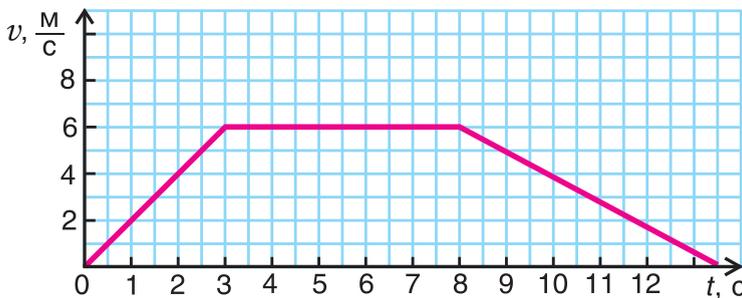


Рис. 108

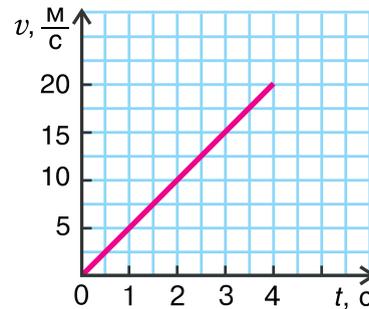


Рис. 109

5. Турист приближается к Национальной библиотеке на расстояние  $s = 120$  м за время  $t = 2,0$  мин. С какой средней скоростью относительно туриста и в каком направлении «движется» здание библиотеки?

 6. Путь  $s = 1,8$  км от дома до парка спортсменов пробежал со скоростью  $v_1 = 4,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а обратный путь прошел быстрым шагом со скоростью  $v_2 = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Какова средняя скорость движения спортсмена? Найдите второе решение, в котором не требуется данное  $s = 1,8$  км.

 7. По графику скорости (рис. 108) определите путь и среднюю скорость движения мухи.

8. Путь от Минска до городов Республики Беларусь отсчитывают от специального знака (рис. 110), находящегося на Октябрьской площади в городе Минске. Определите, во сколько прибудет в город Гродно турист, выехавший из Минска с Октябрьской площади в 12.00 ч, если он едет со средней скоростью  $\langle v \rangle = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Путь до города Гродно  $s = 270$  км.



Рис. 110



## § 19.

### Почему изменяется скорость движения тела. Инерция

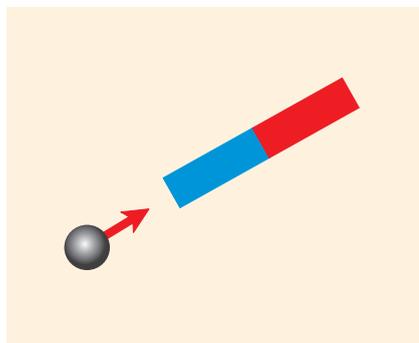


Рис. 111

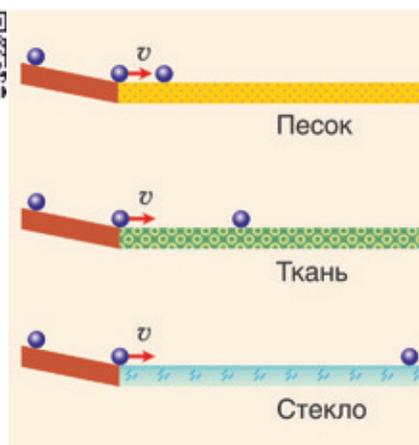


Рис. 112



Рис. 113

Равномерное прямолинейное движение, т. е. движение с постоянной скоростью, — лишь модель реального движения. В жизни всякое движение (от движения огромных планет до движения молекул) чаще всего происходит с изменяющейся скоростью. Что является причиной изменения скорости?

Рассмотрим опыты. На столе лежит стальной шарик. Он находится в состоянии покоя относительно стола. Чтобы заставить шарик двигаться, можно толкнуть его рукой или приблизить к нему магнит (рис. 111). В обоих случаях на шарик действуют другие тела (рука, магнит), что и является причиной изменения скорости движения шарика. А как долго шарик будет двигаться после толчка? Опыт показывает, что скорость движения шарика уменьшается, а через некоторое время его движение прекращается. Почему?

Для получения ответа проведем другой опыт. Три одинаковых шарика одновременно скатываются с одинаковой высоты (рис. 112). Дорожки, по которым затем движутся шарики, отличаются: первая посыпана песком, вторая покрыта тканью, а третья — стеклом. Движение по третьей дорожке продолжается дольше, поскольку трение здесь наименьшее. Значит, причины прекращения движения шарика — трение между поверхностями шарика и стола и, конечно, сопротивление воздуха. А если бы мы смогли убрать эти причины, шарик двигался бы с постоянной скоростью сколько угодно долго.

**Движение тела без действия на него других тел, как и покой, — его естественное состояние.**

То, что тело остается в покое, если нет действия других тел, вполне понятно. Но как же тело может само по себе двигаться, если в повседневной жизни мы видим, что тело движется только тогда, когда

на него действует другое тело? Санки (рис. 113) надо тянуть за веревку, лодка плывет под действием весел (рис. 114). А были бы нужны веревка и весла, если бы не было сопротивления движению? Если бы вода не оказывала сопротивления движению, лодка после толчка двигалась бы бесконечно долго с постоянной скоростью.

Итак, если тело находится в состоянии покоя или в состоянии движения, то оно стремится сохранять это состояние (не изменять скорость), пока на него не подействуют другие тела.

**Свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (сохранять свою скорость неизменной) при отсутствии действия на него других тел называется инерцией.**

С инерцией нам приходится встречаться постоянно. При резком торможении автобуса пассажиры наклоняются вперед, так как продолжают двигаться по инерции. При резком разгоне автобуса они отклоняются назад. Почему? А может ли автомобиль остановиться мгновенно? Нет. Как бы ни были сильны тормоза, инерция препятствует мгновенному торможению. Именно из-за инерции тормозной путь автомобиля тем больше, чем больше скорость его движения. *Мы уверены, что, помня об инерции, вы не будете перебежать улицу перед движущимся транспортом и научите не делать этого своих младших братьев и сестер. А сколько неприятностей из-за инерции случается, пока мы учимся кататься на коньках!*

Инерция может приносить человеку не только неприятности, но и огромную пользу. В водяных и паровых турбинах, а также в ветряных двигателях (рис. 115) используется инерция движения воды, пара, ветра. Инерция играет полезную роль при применении удара: от выколачивания пыли до насадки на рукоятку молотка. Космонавт благодаря инерции может выйти в открытый космос (рис. 116) и не отстать от корабля.



Рис. 114



Рис. 115



Рис. 116

## ▼ Для любознательных

Древнегреческий философ Аристотель (IV в. до н. э.) считал, что только покой — естественное состояние тела, а движение — насильственное. Тело стремится к своему естественному состоянию, поэтому, если не поддерживать движение, оно прекращается.

Ошибка Аристотеля состояла в том, что он верил в инерцию покоя, но не понимал, что телам столь же свойственна инерция движения.

Спустя приблизительно 2000 лет после Аристотеля итальянский ученый Галилео Галилей смог вообразить идеализированный мир — мир без трения. В результате он пришел к выводу о том, что движение тела без действия на него других тел, как и покой, является его естественным состоянием.

## ▣ Главные выводы

1. Если на тело не действуют другие тела, то оно либо находится в состоянии покоя, либо движется равномерно и прямолинейно (по инерции).
2. Изменить состояние покоя или движения тела можно только воздействием на него другого тела или тел.

## ? Контрольные вопросы

1. Что является причиной изменения скорости тела?
2. Что называется инерцией?
3. При автомобильных авариях ремни безопасности существенно снижают травматизм. Как здесь учитывается явление инерции?
4. Почему бегущий человек, споткнувшись, падает лицом вперед, а медленно идущий в гололед, поскользнувшись, падает на спину?

## ➔ Домашнее задание

Положите на стол друг на друга 5 коробков спичек. Линейкой резко ударьте по нижнему коробку. Что произошло? Проведите аналогичный опыт, только при этом ударьте линейкой по нижнему коробку плавно. Объясните результаты опытов.



## § 20.

### Масса тела. Плотность вещества. Единицы плотности

Одинаково ли легко изменить скорость различных тел? Мимо нас пролетает комар. Трудно ли изменить скорость его движения? Достаточно просто дунуть (рис. 117, *а*). А если проезжает груженный автомобиль МАЗ (рис. 117, *б*)?

Инерция есть у всех тел, но это свойство проявляется у них в разной степени. Оно почти незаметно у комара, но очень заметно у автомобиля, для изменения скорости движения которого требуются большие и длительные воздействия.

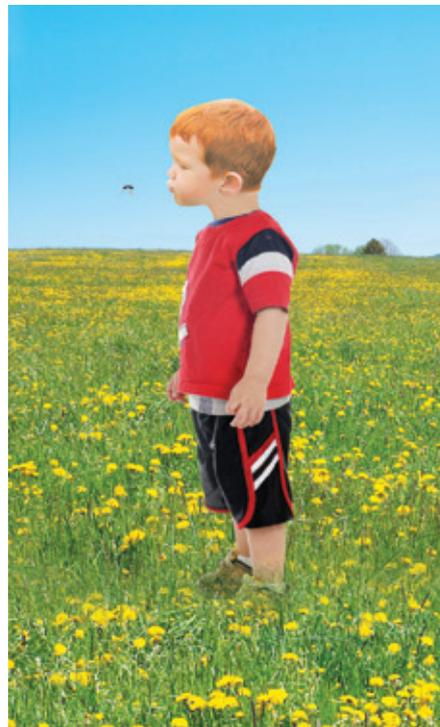
Для характеристики инерции тела в физике используется физическая величина, называемая *массой*. Чем массивнее тело, тем труднее изменить скорость его движения, тем больше оно противится таким изменениям. **Масса тела** — мера его инерции. Масса обозначается буквой *m*.

**Основной единицей массы в СИ является 1 килограмм (1 кг).** Полезно знать, что 1 л воды при комнатной температуре имеет массу, практически равную 1 кг. Соответственно, масса 1 мл равна 1 г. Обратите внимание! В килограммах измеряется единственная физическая величина — масса.

От чего зависит масса тела? Сравните разгон и торможение груженого и порожнего автомобилей. Понятно, что масса тела зависит от количества вещества в теле (от числа молекул). Дело в том, что массой (т. е. инерцией) обладает каждая молекула, поэтому массу всего тела можно рассматривать как сумму масс всех его молекул. Будут ли одинаковыми массы тел, если они содержат одинаковое число молекул? Да, если тела состоят из одного и того же вещества. Нет, если тела состоят из различных веществ (например, алюминиевая и золотая ложки). А теперь сравним массы разных веществ, имеющих одинаковый объем.

Задумайтесь над вопросом: какую тележку легче сдвинуть с места — нагруженную сухими

*а*



*б*



Рис. 117



Рис. 118

дровами (рис. 118, а) или нагруженную камнями (рис. 118, б), имеющими равный с дровами объем? Конечно, тележку с дровами. Ее масса меньше. Значит, масса единицы объема дров и единицы объема камней разная.

**Масса вещества, содержащегося в единице объема, называется плотностью вещества.**

Чтобы найти плотность, необходимо массу вещества разделить на его объем. Плотность обозначается греческой буквой  $\rho$  (ро). Тогда

$$\text{плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объем}}, \quad \text{или} \quad \rho = \frac{m}{V}.$$

**Основной единицей измерения плотности в СИ является  $1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .** Плотности различных веществ определены на опыте и представлены в таблице 3.

На рисунке 119 изображены массы известных вам веществ в объеме  $V = 1 \text{ м}^3$ .

У большинства веществ плотность в твердом состоянии больше, чем в жидком. Например, плотность олова в твердом состоянии  $\rho_{\text{тв}} = 7300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а в жидком (при температуре  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ )  $\rho_{\text{ж}} = 6800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Плотность вещества в жидком состоянии больше, чем в газообразном. Чем это можно объяснить? Вспомните о различии в промежутках между молекулами. Самые большие промежутки между молекулами газа. Поэтому плотность сжиженного воздуха (при  $-194 \text{ }^\circ\text{C}$ ) равна  $860 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а в газообразном состоянии (при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) —  $1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Зная плотность и объем тела, легко найти массу:

$$m = \rho V.$$

Формулу  $\rho = \frac{m}{V}$  можно использовать не только для однородных тел, но и для тел, имеющих полости или состоящих из разных веществ. Только в этом случае формула выражает среднюю плотность тела (сравните с формулой средней скорости):

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

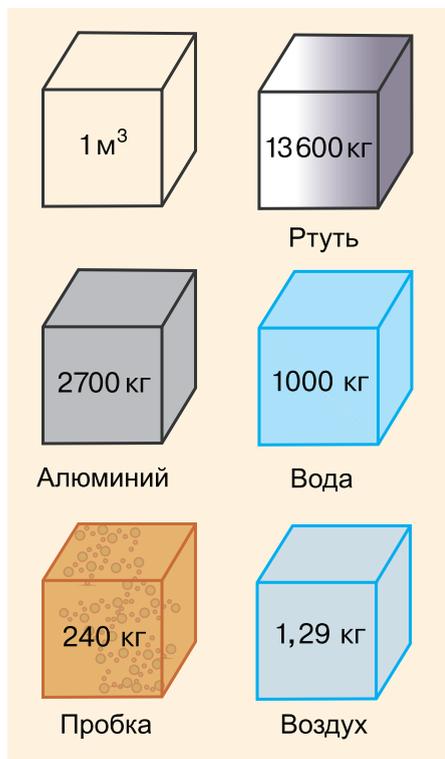


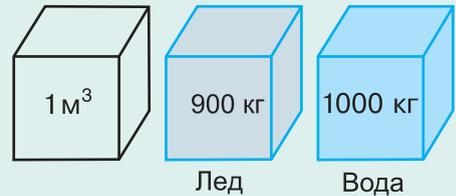
Рис. 119

Таблица 3. Плотности веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Вещество	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Вещество в твердом состоянии при 20 °С					
Осмий	22 600	22,6	Мрамор	2700	2,7
Иридий	22 400	22,4	Стекло оконное	2500	2,5
Платина	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золото	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свинец	11 300	11,3	Соль поваренная	2200	2,2
Серебро	10 500	10,5	Кирпич	1800	1,8
Медь	8900	8,9	Оргстекло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, железо	7800	7,8	Полиэтилен	920	0,92
Олово	7300	7,3	Парафин	900	0,90
Цинк	7100	7,1	Лед	900	0,90
Чугун	7000	7,0	Дуб (сухой)	700	0,70
Корунд	4000	4,0	Сосна (сухая)	400	0,40
Алюминий	2700	2,7	Пробка	240	0,24
Жидкость при 20 °С					
Ртуть	13 600	13,60	Керосин	800	0,80
Серная кислота	1800	1,80	Спирт	800	0,80
Глицерин	1200	1,20	Нефть	800	0,80
Вода (морская)	1030	1,03	Ацетон	790	0,79
Вода (дистиллированная)	1000	1,00	Бензин	710	0,71
Масло подсолнечное	930	0,93	Жидкое олово (при $t = 400$ °С)	6800	6,80
Масло машинное	900	0,90	Жидкий воздух (при $t = -194$ °С)	860	0,86
Газ при 0 °С					
Хлор	3,210	0,00321	Оксид углерода (II) (угарный газ)	1,250	0,00125
Оксид углерода (IV) (углекислый газ)	1,980	0,00198	Природный газ	0,800	0,0008
Кислород	1,430	0,00143	Водяной пар (при $t = 100$ °С)	0,590	0,00059
Воздух	1,290	0,00129	Гелий	0,180	0,00018
Азот	1,250	0,00125	Водород	0,090	0,00009

### ▼ Для любознательных

Твердое вещество, состоящее из молекул  $\text{H}_2\text{O}$  (лед), имеет плотность  $\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , жидкое (вода) —  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .



Вы заметили особенность? Плотность льда меньше плотности воды, что указывает на более плотную упаковку (т. е. меньшие промежутки) молекул в жидком состоянии вещества (вода), чем в твердом (лед).

Из всех видов деревьев наименьшей плотностью обладает древесина бальзового дерева ( $\rho = 100 - 120 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ), растущего в тропиках Центральной и Южной Америки.

Средняя плотность Вселенной ничтожно мала ( $\approx 10^{-28} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ), а вещество нейтронных звезд имеет очень большую плотность ( $2 \cdot 10^{17} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

### ■ Главные выводы

1. Чем больше масса тела, тем труднее изменить скорость его движения.
2. Плотность вещества показывает, какая масса вещества содержится в единице его объема.
3. Плотность вещества в твердом, жидком и газообразном состояниях разная.
4. Тела, состоящие из разных веществ, характеризуются средней плотностью.

### ? Контрольные вопросы

1. Как зависит изменение скорости движения тела от его массы?
2. Самые большие корабли (супертанкеры) на то, чтобы развернуться, тратят не менее получаса. Почему?
3. Что называют плотностью вещества?
4. Зависит ли плотность данного вещества от объема тела?
5. Кирпич раскололи на две равные части. Как изменились характеристики ( $m$ ,  $V$ ,  $\rho$ ) частей тела?
6. Вода в пластмассовой бутылке замерзла. Какие из характеристик тела ( $m$ ,  $V$ ,  $\rho$ ) изменились и как?



### Пример решения задачи

Средняя плотность тела человека примерно равна плотности воды. Зная свою массу, вычислите объем своего тела.

Дано:

$$\langle \rho \rangle \approx \rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V = ?$$

Решение

Определим с помощью весов свою массу  $m$ .  
Например,  $m = 50$  кг. Тогда объем тела

$$V = \frac{50 \text{ кг}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 = 50 \text{ дм}^3.$$

Ответ:  $V = 50 \text{ дм}^3$ .

### Упражнение 6

1. Определите плотность тела массой  $m = 0,234$  кг, имеющего объем  $V = 30 \text{ см}^3$ .

2. Сравните плотности двух веществ:  $\rho_1 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  и  $\rho_2 = 900 \frac{\text{г}}{\text{дм}^3}$ .

3. Определите массу железобетонной плиты площадью  $S = 9,0 \text{ м}^2$  и толщиной  $a = 15$  см. Плотность железобетона  $\rho = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

4. Сосуд какого объема потребуется для перевозки: а)  $m_1 = 50$  кг бензина; б)  $m_2 = 50$  кг ртути? Ответ дайте в литрах.

5. Оловянная статуэтка объемом  $V = 0,80 \text{ дм}^3$  имеет массу  $m = 3,2$  кг. Сплошная она или полая?

6. Медная проволока в мотке имеет диаметр  $d = 1,0$  мм. Какова длина проволоки, если масса мотка  $m = 280$  г?

7. Используя одни и те же координатные оси, постройте графики зависимости массы от объема для шаров, изготовленных из сухой сосны и стекла. Сравните эти графики, сделайте выводы.

8. Постройте график зависимости плотности вещества тела от его объема. Как с помощью этого графика найти массу тела данного объема?

9. Две плиты одинакового объема имеют массы  $m_1 = 1350$  кг,  $m_2 = 200$  кг. Плотность плиты массой  $m_1$  равна  $\rho_1 = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Определите плотность второй плиты. Из какого материала изготовлены плиты?



10. Почему гирьки разновеса массой от 1 г и больше делают из стали, а массой от 500 мг и меньше — из алюминия?



## § 21.

### Сила

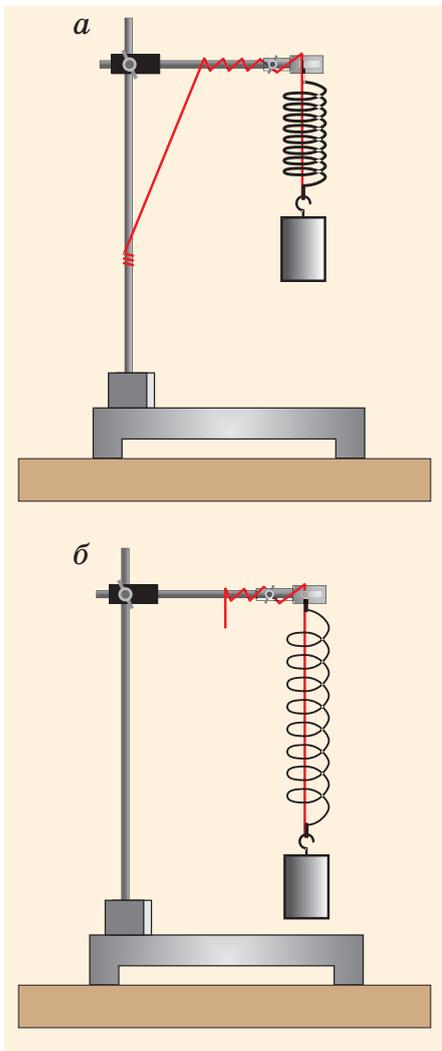


Рис. 120

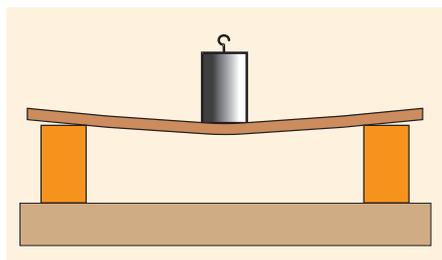


Рис. 121

Изменить скорость движения тела можно действием на него другого тела. Чем больше это действие, тем сильнее изменяется скорость. Напрягая мышцы рук, вы увеличиваете скорость тележки. Ваш старший брат или отец может сильнее подействовать на тележку и увеличить скорость ее движения больше.

С помощью какой физической величины можно количественно определить, насколько сильно одно тело действует на другое, например человек на тележку? Такой величиной является сила.

**Сила — количественная мера действия одного тела на другое.**

В приведенном примере результатом действия является изменение скорости, значит, **сила — причина изменения скорости движения тела.**

Однако действие одного тела на другое приводит не только к изменению скорости. Соединим зафиксированную нить пружину с гирей (рис. 120, а). Перережем нить. Действие гири на пружину вызовет ее удлинение (рис. 120, б). Гиря, стоящая на тонкой доске (рис. 121), прогибает ее. Сжимая пальцами ластик, вы изменяете его форму. В этих случаях действие одного тела на другое, т. е. сила, вызывает изменение размеров или формы тела.

**Изменение размеров или формы тела называется деформацией.** Значит, **сила является причиной не только изменения скорости, но и деформации тела.** Чем больше сила, тем больше деформация. Действительно, подействуйте на пружину большей силой, и растяжение пружины будет больше (рис. 122).

Сила не может существовать сама по себе. Если мы говорим, что на тело действует сила, это означает то, что на тело действует другое тело.

Обычно силу обозначают буквой  $F$  и изображают в виде стрелки. Направление стрелки указы-

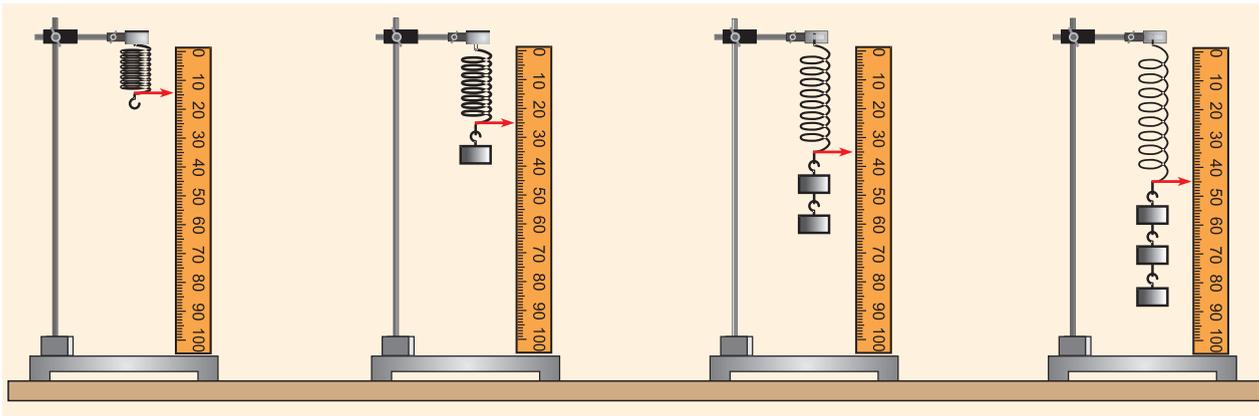


Рис. 122

вает направление действия силы. Начало стрелки совпадает с точкой приложения силы. Абсолютное число, выражающее длину стрелки, называют модулем силы.

Итак, **сила характеризуется модулем, направлением и точкой приложения.** Пусть на одинаковые пружины действуют две одинаковые гири (рис. 123). Одна пружина растягивается под действием гири, другая — сжимается. Модули действующих на пружины сил одинаковы, но направления у сил разные.

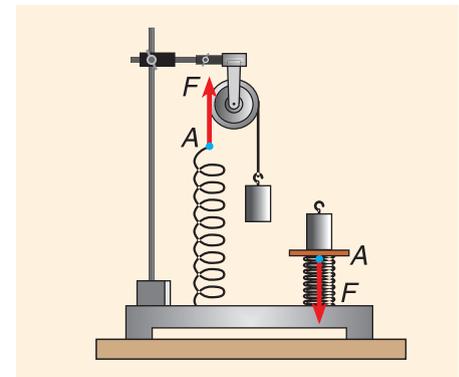


Рис. 123

На рисунке 124 изображены два тела (арбуз и яблоко), действующие на стол с одинаково направленными, но имеющими разные модули силами. Эти силы приложены к крышке стола в точках  $O_1$  и  $O_2$  и направлены вертикально вниз. Модуль силы  $F_1$  больше модуля силы  $F_2$ .

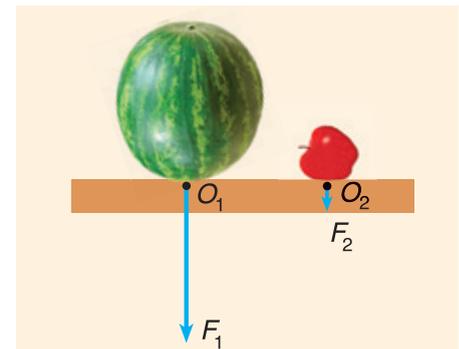


Рис. 124

Чаще всего тело испытывает не одно, а сразу два или более действий, причем иногда противоположного направления. Как изменится скорость движения тела в этом случае? Если модули противоположно направленных сил равны, то, как и в математике при сложении равных по модулю, но противоположных по знаку чисел, мы получим в результате нуль. Такие силы мы будем называть **компенсирующими** друг друга. В этом случае, как и при отсутствии сил, скорость движения тела изменяться не будет. На рисунке 125 силы, приложенные к одному и тому же телу (ветке), компенсируют друг друга. Тело (ветка) находится в состоянии покоя.

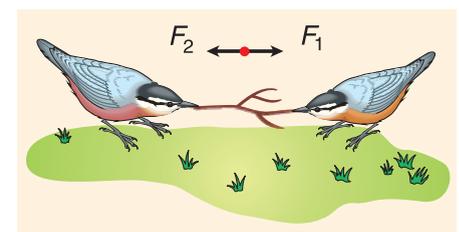


Рис. 125

### ▼ Для любознательных

В повседневной жизни слово «сила» часто используется в сочетаниях «сила огня», «сила духа», «сила воли» и т. д. В физике слово «сила» употребляется только в смысле количественной меры такого действия, которое либо меняет скорость движения тела, либо деформирует его, либо вызывает то и другое одновременно. Действие даже самой малой силы обязательно приводит к тому или иному результату. От нажатия на стол пальцем крышка стола неизбежно прогнется, хотя это не всегда заметно.

### ▣ Главные выводы

1. Сила является количественной мерой действия одного тела на другое.
2. Сила является причиной изменения скорости движения тела и его деформации.
3. Сила характеризуется модулем, направлением и точкой приложения.

### ? Контрольные вопросы

1. К каким результатам может привести действие на тело других тел?
2. Как количественно выразить действие одного тела на другое?
3. Чем характеризуется сила?
4. Футболист бьет по мячу. Каковы результаты действия силы удара ноги футболиста?

### ➔ Домашнее задание

Привяжите к перекладине резиновый жгут. Отметьте положение конца жгута. Подвесьте к концу жгута яблоко и определите удлинение жгута. Повторите опыт с яблоком другой массы. По результатам опытов определите, во сколько раз отличаются массы яблок.



## § 22.

### Явление тяготения. Сила тяжести

Посмотрите на глобус. Это модель Земли. Земля имеет форму, близкую к форме шара. Нам это кажется естественным. Но каково было недоумение людей, впервые услышавших об этом! Они никак не могли поверить, что люди, живущие на противоположной стороне Земли (рис. 126), не падают в бездну.

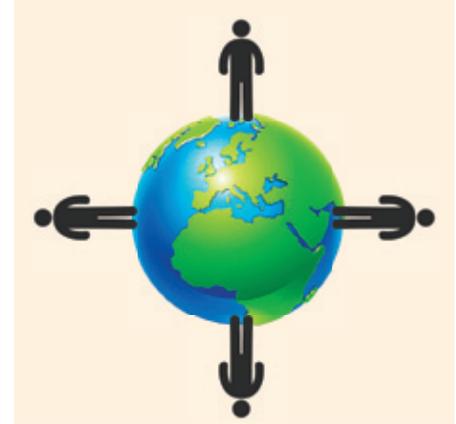


Рис. 126

Почему люди одинаково устойчивы в любом месте Земли? Земля притягивает к себе все тела.

Если бы Земля не обладала притяжением, брошенные горизонтально или вверх тела, двигаясь по инерции, никогда не вернулись бы на Землю. Тем не менее мяч, брошенный вертикально вверх, возвращается обратно (рис. 127, а). Траектория мяча, брошенного горизонтально, по мере движения искривляется (рис. 127, б). Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите (рис. 127, в). Искривление траектории мяча, спутника есть также результат притяжения этих тел к Земле.

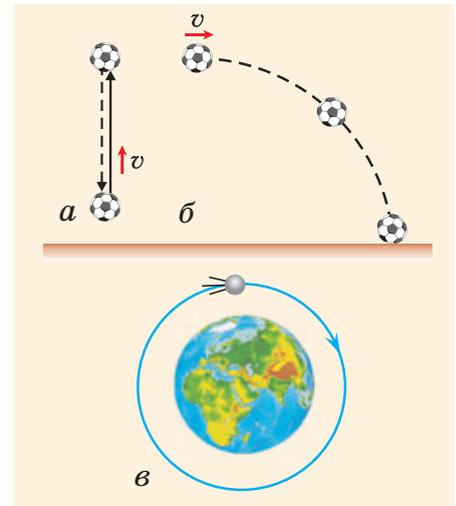


Рис. 127

**Сила, с которой Земля притягивает к себе тело, называется силой тяжести.**

Зависит ли сила тяжести от массы тела? Конечно, да. Из жизненного опыта мы хорошо знаем, что, чем больше масса налитой в ведро воды, тем труднее его удерживать. Слона Земля притягивает гораздо сильнее, чем зайца (рис. 128).

Во сколько раз увеличивается масса тела, во столько раз возрастает сила тяжести  $F_T$ . Иначе говоря, действующая на тело сила тяжести прямо пропорциональна массе тела:

$$F_T = gm,$$

где  $g$  — коэффициент пропорциональности (о его числовом значении вы узнаете из § 25).

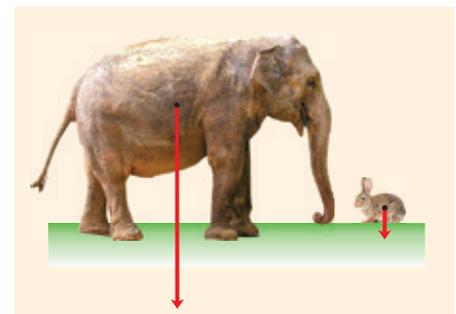


Рис. 128





### Пример решения задачи

Плотность железного бруска в  $k$  раз больше плотности деревянного. Объем железного бруска в  $n$  раз меньше объема деревянного. Во сколько раз отличаются силы тяжести, действующие на бруски?

Дано:

$$\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{д}}} = k$$

$$\frac{V_{\text{д}}}{V_{\text{ж}}} = n$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = ?$$

Ответ:  $\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = \frac{k}{n}$ .

Решение

Силы тяжести, действующие на бруски, равны:

$$F_{\text{ж}} = gm_{\text{ж}}; F_{\text{д}} = gm_{\text{д}}.$$

Массы брусков равны:  $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}}V_{\text{ж}}; m_{\text{д}} = \rho_{\text{д}}V_{\text{д}}$ .

Отношение сил:

$$\frac{F_{\text{ж}}}{F_{\text{д}}} = \frac{g\rho_{\text{ж}}V_{\text{ж}}}{g\rho_{\text{д}}V_{\text{д}}} = \frac{k}{n}.$$

### Упражнение 7

1. Параллельны ли траектории двух тел, одно из которых падает на Северном полюсе, другое — на экваторе?

2. Во сколько раз отличаются силы тяжести, действующие на камни массами  $m_1 = 2$  кг и  $m_2 = 4$  кг, лежащие на земле?

3. Во сколько раз сила тяжести, действующая на 1 л воды, отличается от силы тяжести, действующей на 1 л ртути?

4. На весах (рис. 130) уравновешены два однородных кубика. Сравните: а) силы тяжести, действующие на кубики; б) плотности веществ, из которых изготовлены кубики.

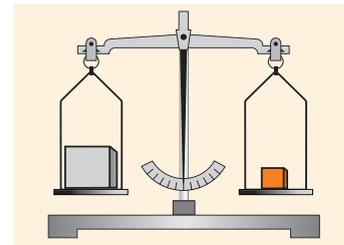


Рис. 130

5. Силы тяжести, действующие на две чугунные детали, отличаются в 4 раза. Во сколько раз отличаются их объемы? Массы?

6. Плотность вещества и объем одной детали в  $k$  раз больше, чем плотность вещества и объем другой. Во сколько раз отличаются действующие на них силы тяжести?

7. В одной из работ И. Ньютона приведены рассуждения о движении бросаемых тел. Суть этих рассуждений отражена на рисунке 131. Самостоятельно воспроизведите смысл рассуждений И. Ньютона.

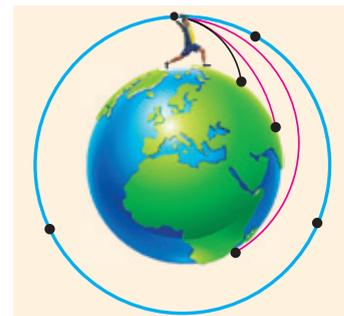


Рис. 131



## § 23.

### Сила упругости

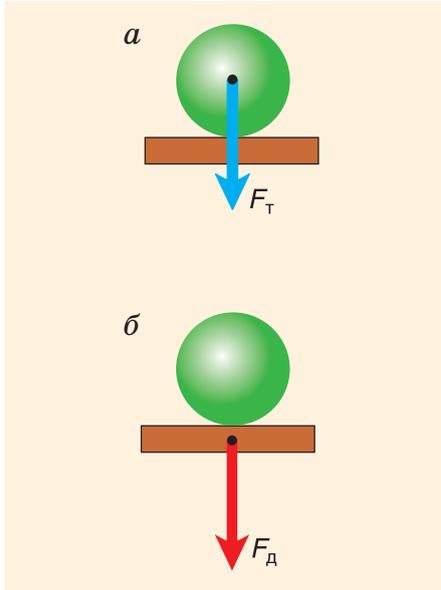


Рис. 132

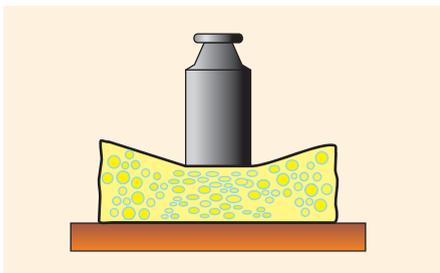


Рис. 133

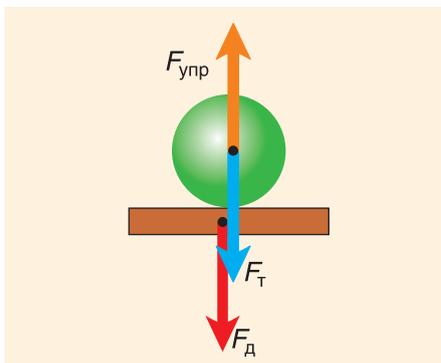


Рис. 134

На горизонтальном столе лежит шар. Как и на всякое тело, на него действует сила тяжести  $F_T$  (рис. 132, *a*). Но почему он не падает вниз? Этому препятствует опора (крышка стола). В чем выражается действие опоры на лежащее на ней тело?

Из § 21 известно, что приложенная к телу сила (даже очень большая) не вызывает изменения скорости движения тела, если она скомпенсирована (уравновешена) приложенной к нему противоположно направленной другой силой. Как возникает эта другая сила? В приведенном примере шар, притягиваясь Землей, давит на крышку стола. Сила давления  $F_д$  приложена к крышке стола и направлена вниз (рис. 132, *б*). Действуя на крышку, эта сила прогибает ее, т. е. деформирует крышку, хотя данная деформация и не заметна для глаз.

Вас не должно удивлять утверждение, что любая, даже незначительная, сила давления (например, сила давления мухи, севшей на стол) вызывает деформацию. Деформации поверхности стола, на которую давит гиря, не видно. Но попробуйте положить под гирю поролон (рис. 133), и вы заметите его прогиб, т. е. деформация станет очевидной.

Вернемся к примеру с шаром. Деформированная опора, стремясь распрямиться, действует на шар с силой, направленной вверх (рис. 134), — **силой упругости**. Именно сила упругости  $F_{упр}$  и компенсирует действие силы тяжести  $F_T$ .

Прделаем еще один опыт. Подвесим шар к пружине, укрепленной на штативе. Шар, притягиваясь к Земле (рис. 135, *a*), движется и растягивает (деформирует) пружину. Деформирую-

щая сила  $F_{\text{деф}}$  приложена к пружине и направлена вниз. Но движение шара не продолжается неограниченно. Что же препятствует движению?

Как и в случае с лежащим шаром, действует сила упругости  $F_{\text{упр}}$ . Она приложена к висющему шару, направлена противоположно деформирующей силе и равна ей по числовому значению.

А теперь поместим шар на пружину сверху (рис. 135, б). Пружина сожмется под действием силы давления  $F_{\text{д}} = F_{\text{деф}}$ , приложенной к ней. Препятствовать движению шара будет сила упругости  $F_{\text{упр}}$ , с которой пружина действует на шар.

Итак, **сила, действующая на тело со стороны деформированной опоры или подвеса, называется силой упругости.**

Вы заметили закономерность? Сила упругости  $F_{\text{упр}}$  приложена к телу, вызвавшему деформацию опоры или подвеса. Она противоположна по направлению и численно равна деформирующей силе  $F_{\text{деф}}$ . Деформирующая сила приложена к опоре или подвесу. Но стоит убрать деформирующую силу — и растяжение, сжатие или прогиб исчезают, т. е. деформированное тело (пружина, стол) восстанавливает свои первоначальные размеры и форму. Поскольку сила упругости возникает в ответ на действие (опора, подвес реагируют на действие), то силу упругости часто называют еще *силой реакции*.

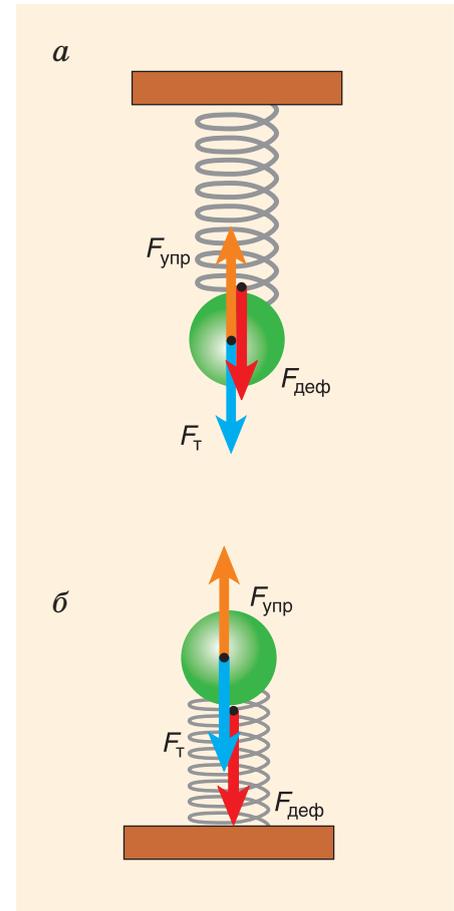


Рис. 135

### ■ Главные выводы

1. Сила упругости (сила реакции) возникает в ответ на действие деформирующей силы.
2. Сила упругости приложена к телу, вызвавшему деформацию опоры или подвеса.
3. Деформирующая сила приложена к опоре или подвесу.
4. Сила упругости противоположна деформирующей силе. Их модули равны.

## ? Контрольные вопросы

1. Когда возникает сила упругости?
2. Как направлена сила упругости?
3. Какой силе противодействует сила упругости?
4. К чему приложены сила упругости и деформирующая сила при растяжении горизонтальной пружины двумя руками за ее концы?



Рис. 136



Рис. 137

### Упражнение 8

1. Книга лежит на столе (рис. 136). Изобразите все силы, действующие на книгу. Какая из них является силой упругости?

2. Какие силы действуют на плиту, которую равномерно поднимает подъемный кран (рис. 137)? Изобразите их и определите, взаимодействие каких тел они выражают.

3. Шар, подвешенный на нити  $AB$  (рис. 138), опирается о гладкую вертикальную стену. Изобразите все силы, приложенные к шару.

4. Два одинаковых шара подвешены на нитях  $AB$  и  $BC$  (рис. 139). Что можно сказать о силах упругости, возникающих в нитях? Изобразите их на рисунке в тетради.

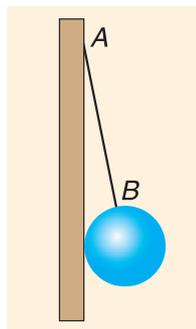


Рис. 138

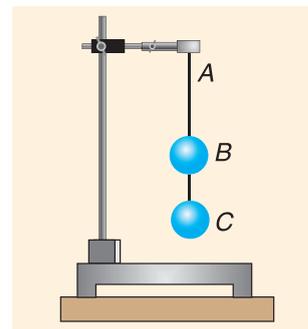


Рис. 139



## § 24. Вес тела

При взаимодействии тел на каждое из них со стороны другого действует сила. Рассмотрим действие друг на друга тела и его горизонтальной опоры или тела и его вертикального подвеса.

На рисунке 140 представлены различные тела. Каждое из этих тел, притягиваясь к Земле, действует на опору или подвес с силой, которая вам знакома (§ 23) как деформирующая сила. Это сила давления на опору или сила натяжения подвеса. Иначе эту силу называют *весом тела*.

Почему тело действует на опору или подвес? Потому что его притягивает Земля. Неподвижные опора или подвес не позволяют телу падать и сами испытывают действие силы.

**Вес — это сила, с которой тело вследствие притяжения Земли действует на опору или подвес.**

Обозначим вес буквой  $P$  и укажем вес каждого тела на рисунке 140. Вес мяча приложен к опоре (крышке стола), направлен вниз и является уже известной вам силой давления. Вес собаки приложен к земле в местах соприкосновения ее лап с землей и равен сумме четырех сил:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4.$$

*Определите сами и изобразите вес всех остальных тел, представленных на рисунке 140.*

А теперь еще раз сравним силу тяжести и вес тела. У этих сил есть общее: они вызваны притяжением Земли. Эти силы очень часто (подчеркиваем — часто, но не всегда) численно равны друг другу. Но у силы тяжести и веса есть различия.

Во-первых, они приложены к разным телам: сила тяжести — к телу (шару), а вес — к опоре или подвесу (крышке стола, нити) (рис. 141, а, б).

Во-вторых, сила тяжести в данном месте Земли имеет строго определенное значение  $F = gm$ ,

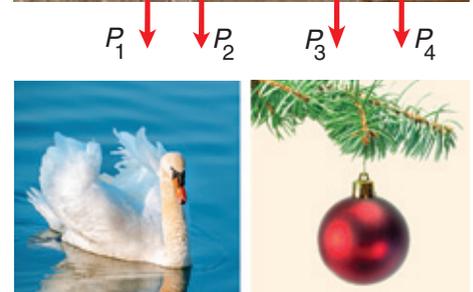
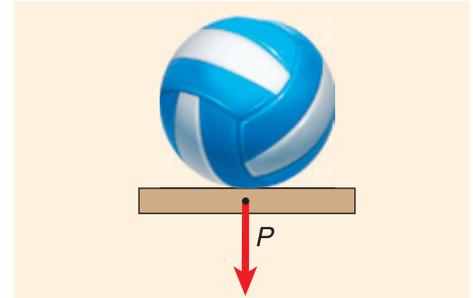


Рис. 140

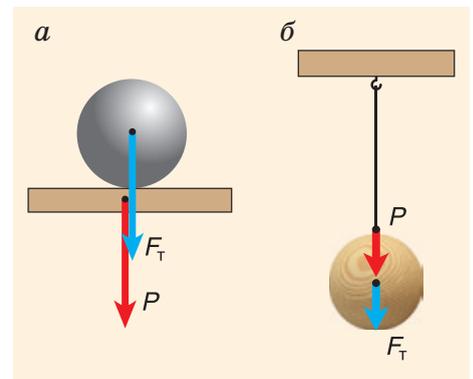


Рис. 141

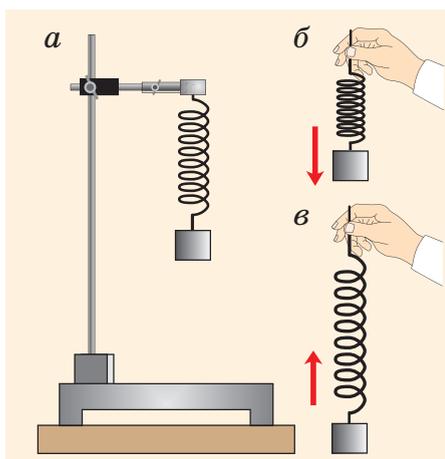


Рис. 142

а вес тела может быть не только равен, но и больше или меньше этого значения.

Докажем это с помощью опыта. Подвесим груз на пружине (рис. 142, а). Если мы будем **равномерно** поднимать и опускать этот груз, то удлинение пружины, а значит, и сила упругости, и вес груза будут оставаться такими же, как в случае неподвижного груза. Но если мы **неравномерно** (резко) опустим (рис. 142, б) или поднимем (рис. 142, в) груз в вертикальном направлении, то будут наблюдаться изменения в растяжении пружины. Это указывает на изменения веса тела: уменьшение (рис. 142, б) или увеличение (рис. 142, в).

### ▼ Для любознательных

Вам известно, что действующая на тело сила тяжести на других планетах может быть как больше, так и меньше, чем на Земле. Значит, и вес тела на этих планетах будет другим.

А может ли тело вообще потерять вес? Космонавты и все тела в космическом корабле свободно парят, не оказывая действия на опору или подвес, т. е. их вес  $P = 0$ . Это состояние тела называется *невесомостью*.

Невесомость можно создать и на Земле. Пустим свободно падать груз вместе с пружиной. Пружина не растягивается, а, значит, вес груза равен нулю. Это и есть невесомость.

### ■ Главные выводы

1. Вес тела — сила, приложенная к опоре или подвесу.
2. Вес неподвижного или равномерно движущегося тела численно равен силе тяжести.
3. Вес тела, движущегося неравномерно, может изменяться и быть больше силы тяжести, меньше и даже равным нулю.

### ? Контрольные вопросы

1. Что называют весом тела? К чему он приложен?
2. В чем отличие веса тела от силы тяжести?
3. В каком случае вес тела численно равен действующей на него силе тяжести?
4. Были ли вы в состоянии невесомости? Аргументируйте свой ответ.





## § 25.

### Единица силы. Измерение силы. Динамометр

Сила характеризуется числовым значением (модулем), направлением и точкой приложения. Чтобы определить числовое значение силы, нужно измерить ее, т. е. сравнить с другой силой, принятой в качестве единицы силы. Что принято за единицу силы?

Главный результат действия силы — изменение скорости движения тела, которая сама по себе никогда не изменяется. Исходя из этого, была выбрана в СИ основная единица силы — 1 ньютон (1 Н), названная в честь английского ученого Исаака Ньютона. Существуют кратные и дольные единицы силы. Например: 1 кН = 1000 Н, 1 мН = 0,001 Н.

Сила, как вы знаете, может не только изменить скорость, но и вызвать деформацию тела. Пружина растягивается (рис. 143), потому что на нее действует вес груза, который притягивает Земля.

Какой массой должно обладать тело, чтобы действующая на него сила тяжести равнялась 1,0 Н? Исследования показали, что с силой  $F = 1,0$  Н Земля притягивает тело массой  $m = 0,102$  кг.

Определим значение коэффициента  $g$ , входящего в формулу силы тяжести  $F = gm$ . Из формулы видно, что  $g = \frac{F}{m}$ . Так как на тело массой 0,102 кг Земля действует с силой  $F \approx 1,0$  Н, то:

$$g = \frac{1,0 \text{ Н}}{0,102 \text{ кг}} \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Значит, если масса тела равна 1,0 кг, то действующая на него сила тяжести  $F = gm = 9,8$  Н. Следовательно, и вес этого тела (если оно находится в состоянии покоя или движется равномерно)  $P = 9,8$  Н.

Ни в коем случае нельзя приравнивать вес и массу, что, к сожалению, часто встречается в быту. Это разные физические величины, и единицы у них разные. Масса измеряется в килограммах, вес — в ньютонах (рис. 144). Если ваша масса  $m = 50$  кг, то ваш вес  $P \approx 500$  Н.

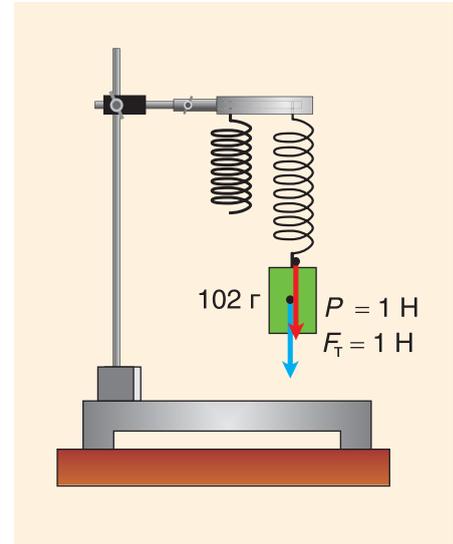


Рис. 143



Рис. 144



Рис. 146

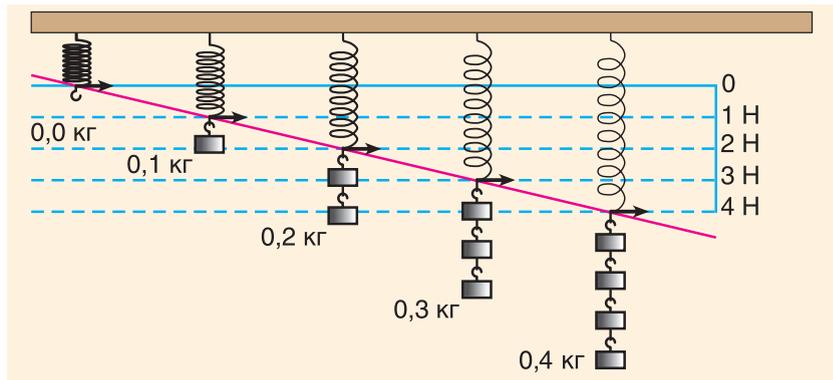


Рис. 145

Как измерить силу? Для этого нужно создать измерительный прибор. Будем подвешивать к пружине сначала одну гирию массой  $m = 102 \text{ г} = 0,102 \text{ кг}$ , затем две, три и т. д. Отметим штрихами положения указателя (рис. 145), напротив которых поставим значения 1 Н, 2 Н, 3 Н и т. д.

Пружина с указателем и шкалой (рис. 146) представляет собой прибор для измерения сил — *динамометр* (от греч. *dynamis* — сила и *metreo* — измеряю). Динамометром можно измерять не только вес тела, но и любые силы.

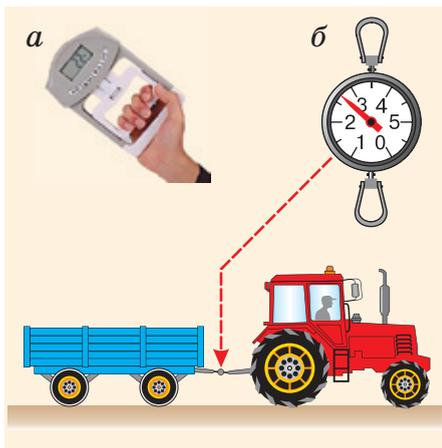


Рис. 147

Динамометры бывают различных типов и размеров. Это зависит от того, для измерения каких сил они предназначены. Для измерения мускульной силы руки используют *динамометр-силомер* (рис. 147, а). Определить силу тяги трактора позволяет *тяговый динамометр* (рис. 147, б).

Для проведения различных исследований удобен *динамометр с речной передачей* (рис. 148). Он позволяет измерять не только силу, направленную вниз. Например, силу, создаваемую лежащим на столике А телом (рис. 148, а), или вес подвешенного к подвесу Б тела. Таким динамометром можно измерить и силу, направленную вверх (рис. 148, б).

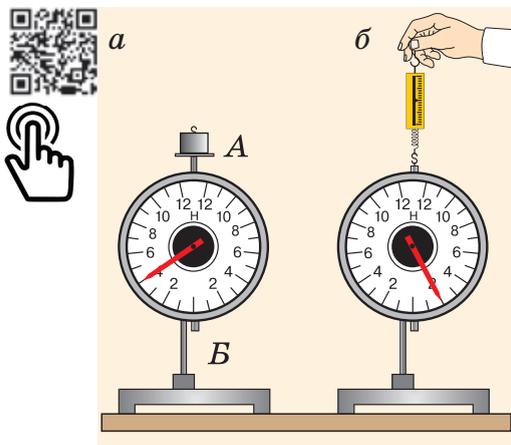


Рис. 148

### ▼ Для любознательных

Значение коэффициента  $g$ , равное  $9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ , характерно только для Земли. Оно несколько изменяется в зависимости от географической широты места и от высоты подъема тела над поверхностью Земли. С увеличением высоты значение  $g$  уменьшается.

Для Луны этот коэффициент в 6 раз меньше, т. е.  $g_{\text{Л}} \approx 1,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ , для Юпитера  $g_{\text{Ю}} \approx 23 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ . Для Солнца  $g_{\text{С}} \approx 274 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$  (почти в 30 раз больше, чем для Земли).

### ▣ Главные выводы

1. В СИ основной единицей силы является 1 ньютон.
2. С силой  $F = 1 \text{ Н}$  Земля притягивает тело массой  $m = 0,102 \text{ кг}$ .
3. Силу измеряют с помощью динамометра.
4. В формуле силы тяжести  $F_{\text{T}} = gm$ , с которой Земля действует на тело, постоянный коэффициент  $g \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

### ? Контрольные вопросы

1. В каких единицах в СИ измеряется сила?
2. Какие свойства силы используются для ее измерения?
3. Какой массой должно обладать тело, чтобы Земля притягивала его с силой  $F = 1 \text{ Н}$ ?
4. С какой силой вас притягивает Земля?
5. Можно ли измерить вес тела с помощью пружинного динамометра, находясь на орбите в космическом корабле?



### ➔ Домашнее задание

Используя подходящую пружину или резиновый жгут, самостоятельно изготовьте динамометр. Градуировку шкалы можно провести в классе. В дальнейшем вы сможете использовать свой динамометр в быту для измерений, не требующих высокой точности.



### Пример решения задачи

Зависимость силы тяжести, действующей на песок в песочных часах, от его объема представлена на рисунке 149. Определите плотность песка. Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

#### Решение

Плотность песка  $\rho = \frac{m}{V}$ . Масса песка  $m = \frac{F_T}{g}$ .

Силу тяжести для данного объема песка, например  $V = 4,0 \text{ см}^3 = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ , определим по данному графика:  $F_T = 100 \text{ мН} = 0,10 \text{ Н}$ . Тогда

$$\rho = \frac{F_T}{gV} = \frac{0,10 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Ответ:  $\rho = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

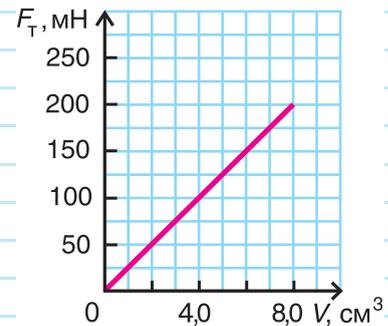


Рис. 149

### Упражнение 9

1. Какие вес и силу тяжести имеют лежащие на столе яблоко, кабачок и арбуз, если их массы соответственно равны:  $m_1 = 0,10 \text{ кг}$ ,  $m_2 = 0,50 \text{ кг}$ ,  $m_3 = 3,0 \text{ кг}$ ? В этой и последующих задачах считайте  $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

2. Определите действующую на лежащий на доске кирпич силу тяжести и вес кирпича объемом  $V = 0,80 \text{ дм}^3$ . Изобразите эти силы.

3. Какие из сил — сила тяжести, давления, упругости, вес — изменяются, если вы стоите в кабине лифта в момент: а) начала подъема; б) равномерного движения; в) торможения перед остановкой?

4. В 2008 г. белорусский штангист А. Арямнов стал победителем XXIX Олимпийских игр, установив три мировых рекорда. В толчке он поднял штангу массой  $m = 236 \text{ кг}$ . Определите вес штанги. Был ли он в процессе подъема и опускания штанги постоянным?

5. Картонный ящик содержит  $N = 50$  плиток шоколада. Вес ящика  $P = 54 \text{ Н}$ . Определите массу одной плитки шоколада, если масса пустого ящика  $m_0 = 0,40 \text{ кг}$ .

6. Зависимость массы от объема бруска представлена на графике (рис. 150). Из какого вещества изготовлен брусок? Чему равны вес бруска, находящегося в состоянии покоя, и сила тяжести, действующая на брусок объемом  $V = 1,0 \text{ дм}^3$ ?

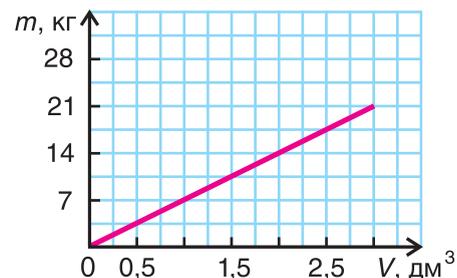


Рис. 150

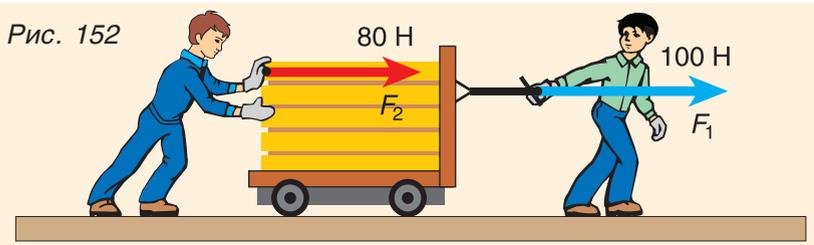


## § 26.

### Сложение сил. Равнодействующая сила

На любое тело действует хотя бы одна сила — сила тяжести. Но чаще всего на тело действует несколько сил. Например, на шарик (рис. 151) действуют Земля и нить (две силы). Каков результат их действия?

Решим такую задачу. Вы с другом перевозите на тележке груз, причем один из вас тянет тележку, прикладывая силу  $F_1 = 100$  Н, другой толкает ее, действуя с силой  $F_2 = 80$  Н (рис. 152). Какова сила, которая двигает тележку?



Эта сила  $F = F_1 + F_2 = 100$  Н +  $80$  Н =  $180$  Н. А изменилось бы движение тележки, если бы ее тянул один человек, прикладывая силу  $F = 180$  Н? Нет, эффект был бы таким же. Значит, одна сила  $F$  оказывает на тележку такое же действие, как две одновременно действующие силы  $F_1$  и  $F_2$ .

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

Как направлена равнодействующая? Проведем опыт. К нижнему крючку динамометра подвесим груз весом  $P_1 = F_1 = 3$  Н, а на столик (рис. 153, а) поместим груз весом  $P_2 = F_2 = 1$  Н. Динамометр показывает действие на него силы  $F = 4$  Н. Сила  $F$  — сумма веса нижнего и верхнего грузов. Эти силы направлены вертикально вниз. Заменим два груза одним весом  $4$  Н и подвесим его к динамометру (рис. 153, б). Динамометр показывает, что действие одного груза такое же, как и двух

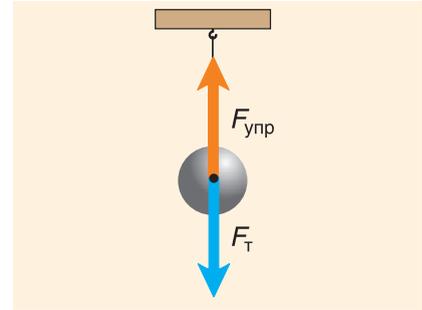


Рис. 151

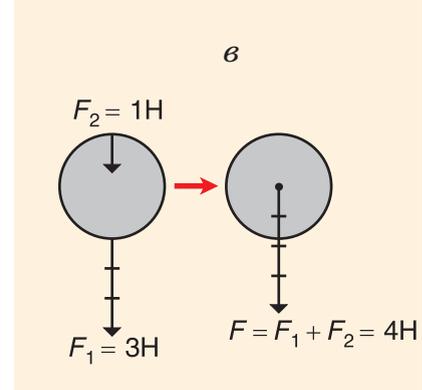
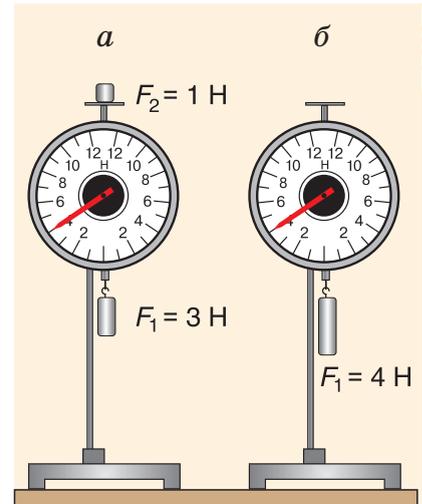


Рис. 153



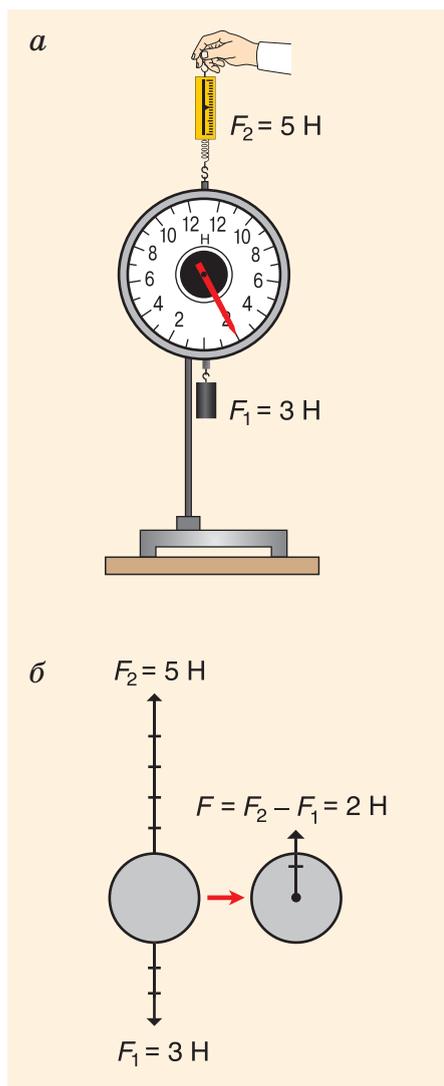


Рис. 154

грузов весом  $P_1 = 3 \text{ Н}$  и  $P_2 = 1 \text{ Н}$ . Значит, сила  $F = 4 \text{ Н} = 3 \text{ Н} + 1 \text{ Н}$  — равнодействующая двух сил, приложенных к динамометру. Изобразим эти силы схематически (см. рис. 153, в).

**Модуль равнодействующей сил, действующих на тело в одном направлении по одной прямой, равен сумме модулей этих сил. Направление равнодействующей такое же, как и отдельных сил.**

Изменим опыт: с помощью другого динамометра подействуем на данный динамометр вверх силой  $F_2 = 5 \text{ Н}$  (рис. 154, а). Приложенные к динамометру силы направлены в противоположные стороны. Динамометр показывает силу  $F = 2 \text{ Н} = 5 \text{ Н} - 3 \text{ Н}$ . Это и есть равнодействующая двух противоположно направленных сил. Она направлена вверх, что подтверждается изменением направления поворота стрелки динамометра.

Значит, действие двух противоположно направленных сил можно заменить одной силой, модуль которой равен разности модулей двух приложенных сил и которая направлена в сторону большей силы (рис. 154, б).

А если силы  $F_1$  и  $F_2$  имеют равные модули? Тогда равнодействующая сила равна нулю. Происходит компенсация сил.

Ответим еще на один важный вопрос: как ведет себя тело при скомпенсированных силах, т. е. при значении равнодействующей  $F = 0$ ?

Проведем опыт. Возьмем пенопластовую пластинку А очень малой массы. Подействуем на пластинку одинаковыми по модулю силами упругости нитей  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 155). Других сил нет. Силой тяжести, действующей на пластинку, можно пренебречь. Равнодействующая сил  $F_1$  и  $F_2$  равна нулю. Пластинка находится в состоянии покоя. Толкнем пластинку. Она придет в движение и, если трение мало, будет двигаться равномерно, т. е. с постоянной скоростью. Но после прекращения толчка на пластинку по-прежнему действуют только силы  $F_1$  и  $F_2$ , их равнодействующая равна нулю.

Опыт позволяет сделать очень важный вывод: если

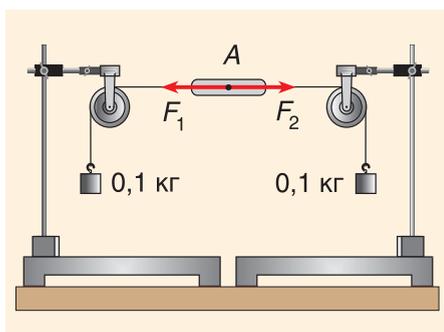


Рис. 155

равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю, тело находится в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно. Приведите примеры, подтверждающие этот вывод.

А если продолжить опыт и подвесить к одной нити два груза, а к другой — три (рис. 156)? Равнодействующая сил упругости нитей  $F_1$  и  $F_2$ , приложенных к пластинке, уже не будет равна нулю. Пластинка придет в движение с увеличивающейся скоростью.

**Внимание! Находить равнодействующую можно только для сил, приложенных к одному телу.**

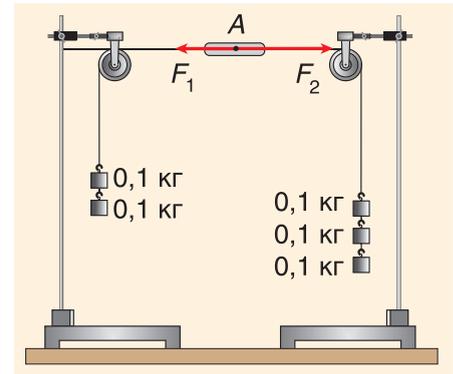
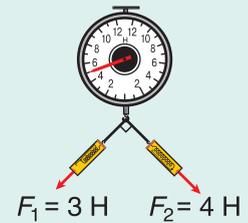


Рис. 156

### ▼ Для любознательных

Если приложенные к телу силы действуют не вдоль одной прямой, то модуль равнодействующей силы не равен арифметической сумме этих сил. В показанном на рисунке опыте приложенные силы —  $F_1 = 3 \text{ Н}$ ,  $F_2 = 4 \text{ Н}$  — перпендикулярны друг другу, а модуль равнодействующей  $F$  равен не  $7 \text{ Н}$ , а  $5 \text{ Н}$ , т. е. меньше суммы  $F_1 + F_2$ .



### ▣ Главные выводы

1. Действие нескольких сил, приложенных к телу, можно заменить одной силой — их равнодействующей.
2. Направление равнодействующей двух сил, действующих вдоль одной прямой, совпадает с направлением большей из них.
3. Если равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю, то оно либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно.
4. Если равнодействующая всех сил, приложенных к телу, не равна нулю, скорость тела изменяется.

### ? Контрольные вопросы

1. Что называют равнодействующей силой?
2. Как находится равнодействующая двух сил, если они:
  - а) направлены в одну сторону; б) направлены в противоположные стороны?
3. Сформулируйте условие движения тела с постоянной скоростью.



### Пример решения задачи

На автомобиль массой  $m = 2,0$  т, движущийся равномерно по прямолинейному горизонтальному участку шоссе, действует сила сопротивления движению  $F_{\text{сопр}} = 8,0$  кН. Определите силу тяги, развиваемую двигателем автомобиля. Изобразите все силы, действующие на автомобиль (масштаб: 1 см — 8000 Н). Найдите их равнодействующую.

Дано:

$$m = 2,0 \text{ т} = 2,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$F_{\text{сопр}} = 8,0 \text{ кН} = 8,0 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тяги}} \text{ — ?}$$

$$F_{\text{р}} \text{ — ?}$$

Решение

Если автомобиль движется равномерно, то равнодействующая всех сил, приложенных к нему, равна нулю. На автомобиль действуют: сила тяжести  $F_{\text{т}}$ , сила упругости  $F_{\text{упр}}$ , сила тяги  $F_{\text{тяги}}$ , сила сопротивления  $F_{\text{сопр}}$ .

Изобразим  $F_{\text{сопр}}$  в заданном масштабе (рис. 157). Так как движение автомобиля равномерное, то равнодействующая сил:

$$F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}} = 0, \text{ т. е.}$$

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{сопр}} = 8000 \text{ Н} = 8,0 \text{ кН.}$$

$$\text{Аналогично } F_{\text{упр}} - F_{\text{т}} = 0, \text{ значит, } F_{\text{р}} = 0.$$

$$\text{Ответ: } F_{\text{тяги}} = 8,0 \text{ кН; } F_{\text{р}} = 0.$$

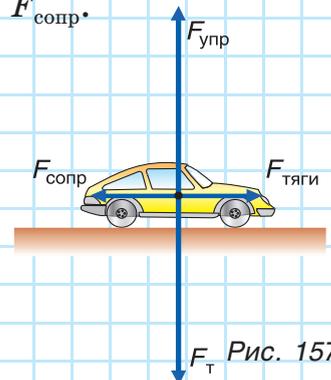


Рис. 157

### Упражнение 10

1. Какими будут максимальное и минимальное значения равнодействующей двух сил, направленных вдоль одной прямой, если  $F_1 = 10$  Н,  $F_2 = 12$  Н?

2. Дима помогает отцу передвигать шкаф. Дима толкает шкаф с силой  $F_1 = 100$  Н, а отец — с силой  $F_2 = 500$  Н. Обе силы направлены горизонтально. Определите равнодействующую сил, с которыми отец и сын действуют на шкаф. Изобразите эти силы (масштаб: 1 см — 100 Н).

3. Кабина лифта общей массой  $m = 200$  кг поднимается с помощью троса, сила упругости которого  $F = 2,20$  кН. Определите равнодействующую сил, приложенных к кабине лифта. Изобразите эти силы (масштаб: 1 см — 800 Н). Является ли движение кабины равномерным? В этой и последующих задачах считайте  $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

4. Под действием двух чугунных кубиков объемом  $V = 0,10$  дм<sup>3</sup> каждая пружина растянулась на  $l = 5$  см. На сколько растянется пружина, если к ней подвесить чугунную деталь массой  $m_2 = 1,4$  кг?



## § 27.

### Трение. Сила трения

Кто из вас не катался с горы на санках? Приобретая большую скорость, санки (рис. 158), выехав на горизонтальный участок, останавливаются. Почему? Вспомните, что действующая на тело сила может изменить скорость его движения. Этой силой является сила трения скольжения. А что нужно сделать, чтобы санки продолжали движение с той же скоростью? Необходимо скомпенсировать силу трения. Для этого следует тянуть санки, прикладывая горизонтальную силу, равную по модулю силе трения. От чего зависит сила трения?



Рис. 158

Проведем опыт. Будем с помощью динамометра равномерно перемещать брусок по горизонтальной поверхности стола (рис. 159). Динамометр показывает, что на брусок действует сила тяги, но скорость движения бруска не изменяется. Значит, на брусок действует компенсирующая сила. Этой силой является сила трения  $F_{\text{тр}}$ . Равнодействующая сил  $F_{\text{тяги}}$  и  $F_{\text{тр}}$  равна нулю. Обратите внимание, что модуль силы трения равен модулю силы тяги только в случае равномерного прямолинейного движения. Если же модуль силы тяги больше модуля силы трения, скорость движения тела будет возрастать. А если  $F_{\text{тяги}}$  меньше  $F_{\text{тр}}$  — убывать.

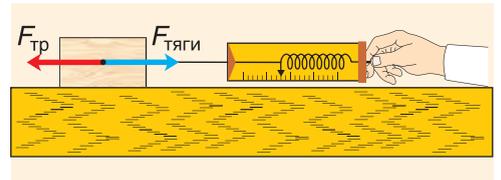


Рис. 159

Итак, **сила трения скольжения возникает при движении одного тела по поверхности другого и направлена в сторону, противоположную движению.**

Почему возникает сила трения? Продолжим опыт. Будем равномерно перемещать брусок сначала по шероховатой, затем по обработанной поверхности. Сила тяги будет больше при движении по шероховатой поверхности (рис. 160, а). Значит, и модуль равной ей силы трения будет тем больше, чем более шероховатой, неровной окажется поверхность. При движении неровности

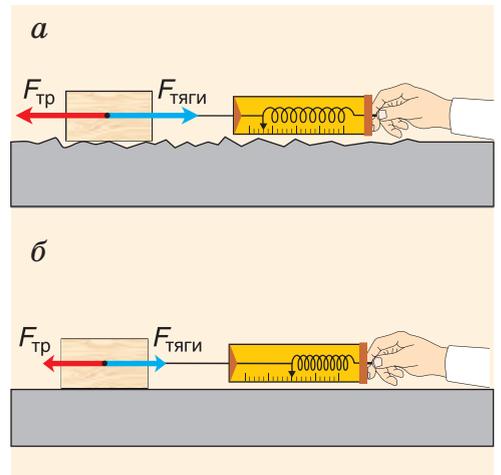


Рис. 160

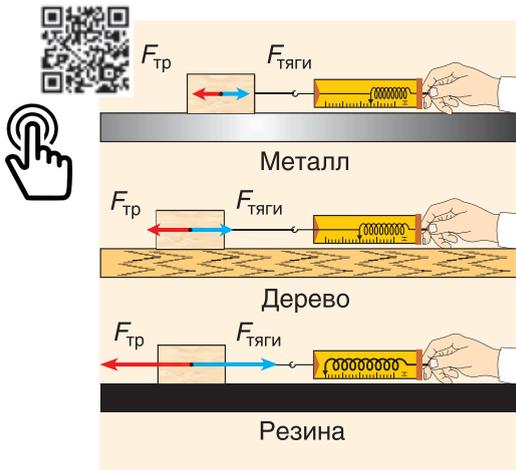


Рис. 161



Рис. 162

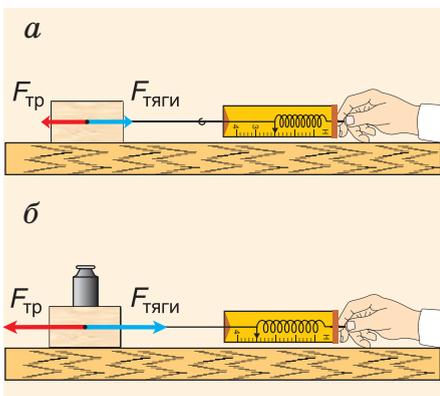


Рис. 163

цепляются друг за друга, деформируются, разрушаются. Это создает препятствия движению.

А если бы поверхности были идеально гладкими, то возникла ли бы сила трения при движении одного тела по поверхности другого? Не спешите ответить «нет». При хорошо отполированных поверхностях расстояние между поверхностями тел или их участками очень малое. При движении тел станут существенными силы притяжения молекул поверхности одного тела к молекулам поверхности другого. Эти силы будут тормозить движение тел.

Значит, **шероховатость поверхностей** и **силы притяжения** между молекулами соприкасающихся поверхностей — причины возникновения сил трения.

Если при движении соприкасаются твердые поверхности тел, трение называют *сухим*.

От чего еще зависит сила сухого трения? Дадим ответ, исходя из опыта. Будем равномерно двигать деревянный брусок по различным поверхностям: по металлической, деревянной, резиновой (рис. 161) — с примерно одинаковым качеством обработки. Динамометр показывает различную силу тяги. Следовательно, силы трения дерева о металл, дерева о дерево, дерева о резину будут различными. Наибольшая сила трения возникнет при движении по поверхности резины. Не случайно подошвы в спортивной обуви (рис. 162) делают резиновыми и рельефными.

Поставим теперь на брусок гирю и сравним силы трения при равномерном движении ненагруженного бруска (рис. 163, а) и бруска с гирей (рис. 163, б). Видно, что во втором случае сила тяги, а значит, и сила трения увеличилась. Но брусок с гирей с большей силой давит на поверхность, с которой соприкасается. Следовательно, сила трения тем больше, чем больше сила, прижимающая тело (брусок) к поверхности.

Как уменьшить трение? Здесь есть два пути. Первый — заменить трение скольжения трением качения. Прделаем такой опыт. Будем равномер-

но передвигать металлическую тележку по столу скольжением (рис. 164, а) и качением (рис. 164, б). Сила трения во втором случае значительно меньше, хотя материал поверхностей и прижимающая сила не изменяются. Значит, трение качения меньше трения скольжения. С тяжелым чемоданом справиться легко, если прикрепить к нему колеса.

Второй путь уменьшения трения скольжения — это **смазывание трущихся поверхностей**. Смазка (например, масло) заполняет все неровности трущихся поверхностей и располагается тонким слоем между ними так, что поверхности перестают касаться друг друга. При этом **сухое трение заменяется трением слоев жидкости** (масла), а оно в 8—10 раз меньше.

Опытный водитель никогда не отправится в далекий путь, не проверив, достаточно ли масла в двигателе машины. *Объясните, зачем он это делает.*

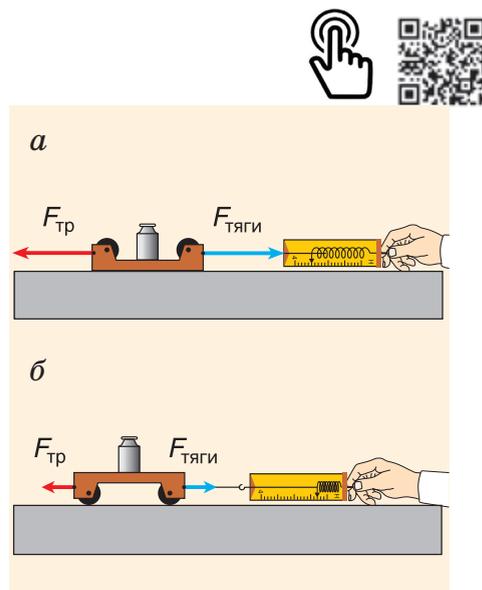


Рис. 164

### ▼ Для любознательных

А знаете ли вы, что с помощью катков перемещают дома? Например, в городе Москве во время реконструкции улицы Тверской некоторые дома были перемещены на другое место именно таким способом.

В машинах для замены трения скольжения трением качения используют шариковые и роликовые подшипники (см. рис.). Подшипники диаметром 1,5—2 мм применяют в точных измерительных приборах. Вращающийся вал машины или другого механизма не скользит по неподвижному вкладышу подшипника, а катится по нему на стальных шариках или роликах. Это снижает трение в 20—30 раз.



### ➔ Домашнее задание

Смочите мыльной водой палец, на который плотно надето кольцо. Кольцо снимется легко. Объясните результаты опыта.

## □ Главные выводы

1. Сила трения скольжения возникает при движении одного тела по поверхности другого.
2. Сила трения скольжения направлена против движения.
3. Сила трения зависит от свойств соприкасающихся поверхностей и силы, прижимающей тело к поверхности.
4. Сила трения качения меньше силы трения скольжения.

## ? Контрольные вопросы

1. В каких случаях возникает сила трения и чем она обусловлена?
2. Как направлена сила трения?
3. Какие виды трения вам известны? Приведите примеры.
4. Как измерить силы трения скольжения и качения?
5. От чего зависит сила трения скольжения? Как ее уменьшить?
6. Какие силы вы преодолеваете, вытягивая книгу с полки (рис. 165)? Как они направлены?



Рис. 165

## Упражнение 11

1. На шинах автомобилей, тракторов имеется протектор (рельефный рисунок). Зачем он нужен?
2. Для чего боксеры перед выходом на ринг несколько секунд «танцуют» в ящике с канифолью?
3. Почему после дождя дорога становится скользкой?
4. Комок ваты массой  $m = 5$  г падает с постоянной скоростью. Какие силы приложены к комку и чему равна их равнодействующая?
5. Почему в производстве железнодорожных локомотивов (тепловозы, электровозы) не используют легкие сплавы алюминия, широко применяемые в самолетостроении?



## Темы проектных заданий

1. Масса и вес тела. Состояние невесомости.
2. Тормозной путь человека, автомобиля, поезда.
3. Может ли тело двигаться, если равнодействующая сила  $F = 0$ ?
4. Инерция и правила дорожного движения.
5. Трение. Полезна или вредна сила трения?

# 4



## Давление

- Почему у комбайна колеса широкие, а ножи острые?
- Почему рыбы могут плавать на большей глубине, чем подводные лодки?
- Почему накачанные воздухом резиновые шары, поднимаясь на большую высоту, увеличиваются в объеме?





## § 28.

### Давление. Единицы давления

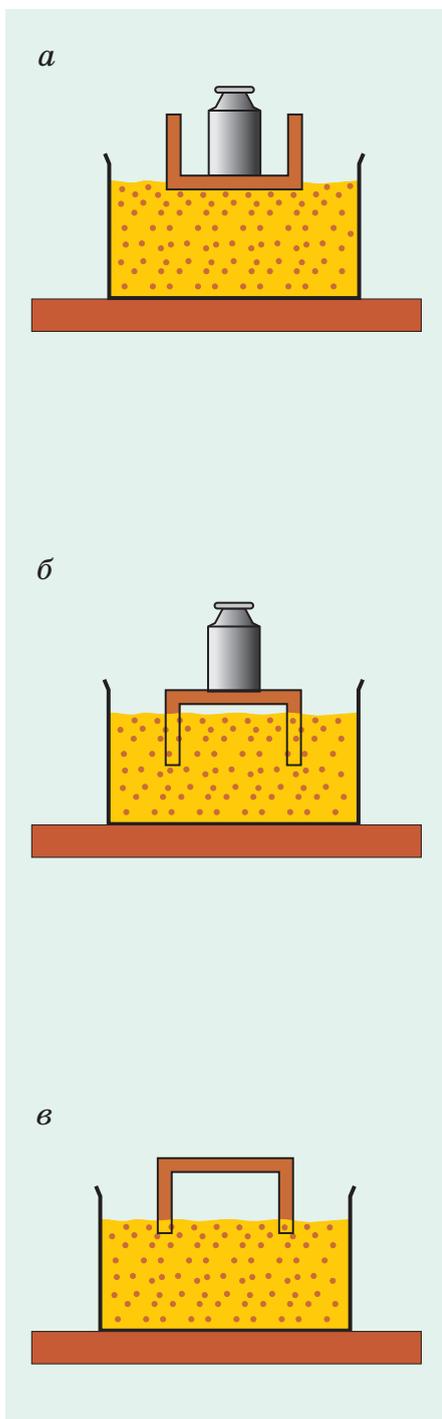


Рис. 166

Вы уже знаете, что тело, находящееся на горизонтальной опоре, действует на опору силой давления. Она приложена к опоре и направлена перпендикулярно к ней. Опора деформируется. От чего зависит степень ее деформации?

Проделаем такой опыт. Поместим столик вверх ножками в ящик с песком. На столик поставим гирю (рис. 166, а). Столик с гирей лишь незначительно погрузится в песок. А теперь перевернем столик ножками вниз и поставим ту же гирю (рис. 166, б). Ножки погрузятся в песок. Результат действия одной и той же силы давления (веса столика с гирей) оказался разным. Почему? Потому, что сила давления действовала на разную площадь поверхности опоры. В первом случае ее действие распределилось на площадь поверхности песка под крышкой столика. Во втором — на площадь поверхности песка под ножками столика. Ясно, что площадь под ножками значительно меньше площади под крышкой столика.

А если убрать гирю, т. е. уменьшить силу давления (рис. 166, в)? Ножки погрузятся в песок, но не так сильно.

Результат действия силы давления на поверхность можно определить с помощью физической величины — давления. Обозначим давление буквой  $p$ . Из опыта следует, что **давление тем больше, чем больше сила давления и чем меньше площадь поверхности, на которую она действует.**

**Давление — это физическая величина, равная отношению силы давления, действующей перпендикулярно поверхности, к площади поверхности.**

Математически это можно выразить так:

$$\text{давление} = \frac{\text{сила давления}}{\text{площадь поверхности}}, \text{ или } p = \frac{F}{S}.$$

В СИ основной единицей давления является  $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ . Ее называют паскалем (Па) в честь французского ученого Блеза Паскаля (см. форзац 1), изучавшего давление в жидкостях и газах.

**1 паскаль** — это давление на поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$ , производимое силой  $1 \text{ Н}$ , действующей перпендикулярно.

Применяют кратные единицы давления: гектопаскаль (гПа), килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа). Обратите внимание:

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па} = 1 \cdot 10^2 \text{ Па};$$

$$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па} = 1 \cdot 10^3 \text{ Па};$$

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

Позже вы познакомитесь и с другими единицами давления.

Силой давления может быть не только вес тела, но и любая сила, перпендикулярная поверхности, на которую она действует.

Простой пример: вы загоняете канцелярскую кнопку в вертикальную доску (рис. 167). Силой давления на кнопку является сила действия пальца руки, направленная горизонтально (перпендикулярно доске). Пружины дивана оказывают давление на сидящего на нем человека. Сила давления (сила упругости пружин) при этом направлена вертикально вверх.

Для практических целей иногда необходимо уменьшить давление, а в ряде случаев, наоборот, — увеличить. Как изменить давление?

Обратимся к формуле  $p = \frac{F}{S}$ . Совершенно ясно: чтобы уменьшить давление, нужно уменьшить силу давления или увеличить площадь поверхности.

Например, чтобы увеличить проходимость тяжелых машин (трактора, танка), их снабжают гусеницами (рис. 168). Площадь поверхности, на которую действует сила давления, увеличивается, а давление — уменьшается. Широкие шины у автомобилей, лыжи у человека (рис. 169),

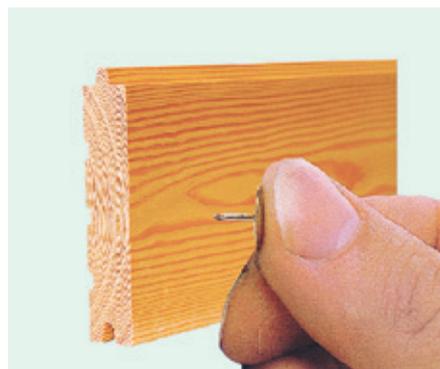


Рис. 167



Рис. 168



Рис. 169



Рис. 170



Рис. 171



Рис. 172

довольно большие по площади стопы у слона (рис. 170) играют ту же роль, что и гусеницы у трактора. *Приведите сами подобные примеры.*

А как увеличить давление? Из формулы давления следует: надо увеличить силу давления или уменьшить площадь поверхности, на которую действует сила. Заточивая лезвия ножей, ножниц (рис. 171), кос, острия игл, зубцы пил и др., мы стараемся уменьшить площадь поверхности. Тем самым, действуя малой силой, можно создать большое давление.

Животному миру природа сама обеспечила возможность создавать большое давление небольшим усилием, вооружив его представителей иглами, клювами и когтями (рис. 172), зубами, клыками, жалами и т. д.

### ■ Главные выводы

1. Давление — это физическая величина, равная отношению силы давления к площади поверхности.
2. Чем больше действующая на поверхность сила давления, чем меньше площадь поверхности, на которую действует сила давления, тем больше давление.
3. В СИ основной единицей давления является 1 Па.

## ? Контрольные вопросы

1. Для чего вводится физическая величина — давление?
2. В каких единицах измеряется давление?
3. Какая разница между понятиями «сила давления» и «давление»?
4. Как можно увеличить давление? Уменьшить?
5. Как, используя формулу давления, рассчитать силу давления?

## ▼ Для любознательных

Человек при ходьбе создает давление до 300—400 кПа (*определите давление, которое создаете вы, стоя на полу; сравните полученные результаты с приведенным значением и объясните причину расхождения этих значений*).

## Пример решения задачи

Семиклассник массой  $m = 50$  кг стоит на полу. Определите давление, которое он производит на пол, если площадь соприкосновения подошвы его ботинка с полом  $S = 0,50$  дм<sup>2</sup>. Коэффициент  $g$  примите равным  $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$S = 0,50 \text{ дм}^2 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$p$  — ?

Решение

Давление, которое производит семиклассник на пол:

$$p = \frac{F}{2S}.$$

Сила давления  $F$  равна весу  $P$  семиклассника. Вес  $P = gm$ . Тогда:

$$p = \frac{gm}{2S}; \quad p = \frac{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 50 \text{ кг}}{2 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2} = 50\,000 \text{ Па} = 50 \text{ кПа}.$$

Ответ:  $p = 50$  кПа.

## Упражнение 12

1. В каком из положений (рис. 173) брусок создает на поверхность доски наибольшее давление? Наименьшее? Почему?

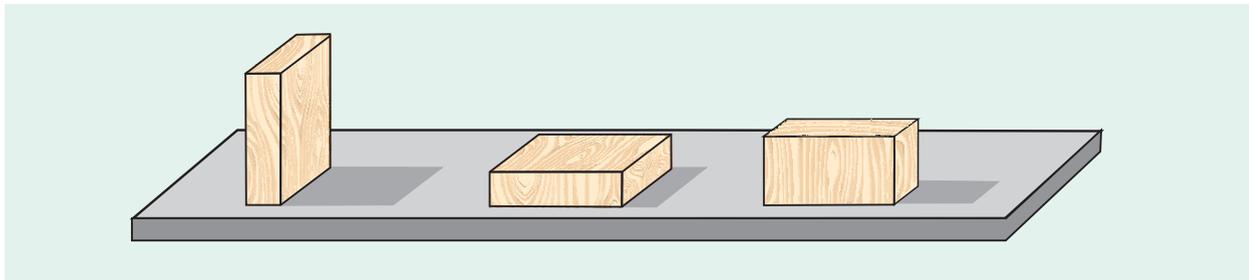


Рис. 173

2. Определите давление, создаваемое кружкой на крышку стола, если вес кружки  $P = 2,4$  Н, а площадь ее дна  $S = 0,60$  дм<sup>2</sup>.

3. Швея при шитье, действуя на иголку с площадью острия  $S = 0,02$  мм<sup>2</sup>, создает давление на ткань  $p = 100$  МПа. С какой силой давления швея действует на иголку?

4. Какую площадь должно иметь острие гвоздя, чтобы при силе давления  $F = 20$  Н созданное гвоздем давление равнялось  $p = 10$  МПа?

5. Во сколько раз и как изменится давление, если площадь поверхности, на которую действует сила давления, уменьшится в  $k$  раз?

6. Во сколько раз изменится давление, если сила давления увеличится в 2 раза, а площадь поверхности уменьшится в 6 раз?

7. Постройте график зависимости давления от силы давления, считая площадь опоры постоянной. Что он собой представляет?

8. Какое давление на грунт производит бетонная цилиндрическая колонна высотой  $h = 8,0$  м и площадью сечения  $S = 1,5$  м<sup>2</sup>? Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

 9. Найдите такое решение предыдущей задачи, при котором не понадобились бы все данные.

 10. Силикатный блок длиной  $a = 50$  см лежит плашмя на горизонтальной поверхности. Определите ширину и высоту блока, если при установке его в два других положения давление на поверхность изменяется в 2,5 и 5,0 раза.



## § 29.

### Давление газа

Газы, как и твердые тела, тоже производят давление. Но твердые тела передают давление в том направлении, в котором действует сила давления. Кнопка (см. рис. 167) передает давление перпендикулярно доске, лопата (рис. 174) — в направлении силы давления ноги и т. д.

А вот газы передают давление по всем направлениям. Чем обусловлена такая особенность газов? От чего зависит давление газа?

Вам уже известно, что газы, как жидкости и твердые тела, состоят из частиц (атомов, молекул). Но промежутки между частицами у газов больше, чем у жидкостей и твердых тел. Поэтому силы взаимодействия между частицами у газов практически отсутствуют (кроме процессов столкновения). Двигаясь хаотично, они сталкиваются между собой и со стенками сосуда. Так как число частиц газа в сосуде чрезвычайно велико (в  $1 \text{ см}^3$  их примерно  $2,7 \cdot 10^{19}$ ), то стенка воспринимает удары частиц как действие вполне ощутимой силы давления.

В газах среднее число ударов хаотично движущихся частиц и средняя сила ударов на единицу площади поверхности стенки по всем направлениям одинаковы. Значит, и среднее давление по всем направлениям одинаково.

Подтвердим это опытом. Под стеклянный колокол поместим завязанную оболочку резинового шара, внутри которой находится газ (рис. 175). Будем откачивать воздух из-под колокола. Объем шара по мере откачки воздуха увеличивается. Это связано с тем, что давление газа под колоколом становится меньше, чем внутри шара.

Форма оболочки в виде шара — доказательство того, что давление газа по всем направлениям одинаково.



Рис. 174

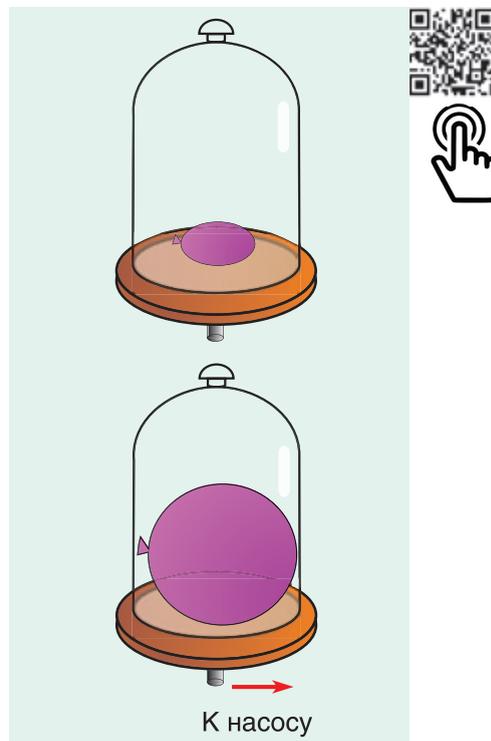


Рис. 175



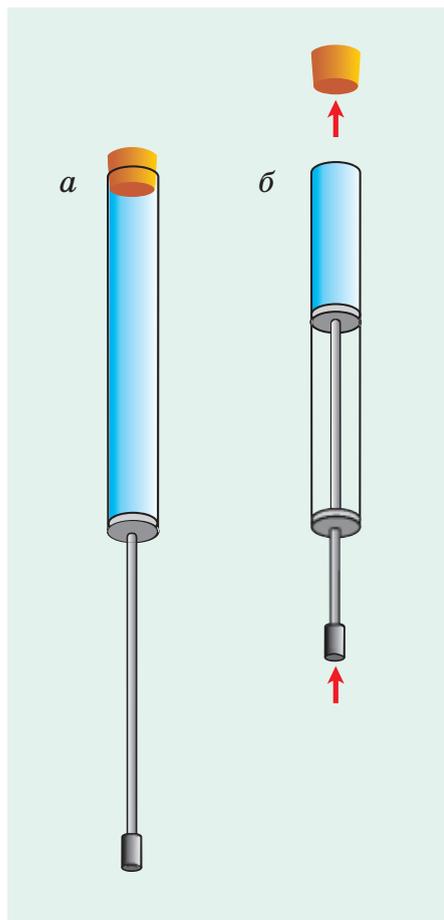


Рис. 176

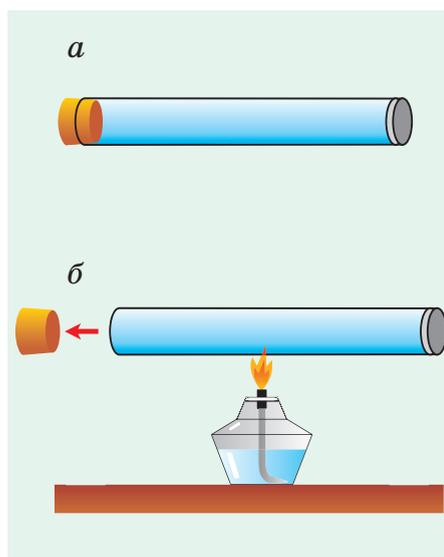


Рис. 177

Каким образом можно изменить давление газа? Поскольку давление обусловлено числом ударов частиц и силой удара каждой частицы о стенку, то есть два пути его изменения. Первый из них — изменить число частиц в единице объема.

Подтвердим сказанное опытом. В пробковом пистолете между пробкой и поршнем находится газ (воздух) (рис. 176, а). Он оказывает давление по всем направлениям. Если поршнем сжимать газ (воздух), не меняя его температуры, то пробка вылетит из пистолета (рис. 176, б). Почему?

Уменьшая объем газа, мы увеличиваем число частиц в единице объема. Это приводит к увеличению числа ударов о стенки и о пробку. Давление газа возрастает. А с увеличением давления растет сила давления газа на пробку, и она вылетает из пистолета. Если увеличивать объем газа при постоянной температуре, то давление будет уменьшаться.

Итак, при уменьшении объема (сжатии) газа при постоянной температуре его давление увеличивается, а при увеличении объема (расширении) газа давление уменьшается.

Второй путь изменить (например, увеличить) давление газа — это изменить силу удара частиц о стенки. Для этого газ нужно нагреть. Тогда скорость хаотического движения частиц увеличится. Следовательно, увеличится и сила ударов их о стенки.

Зависимость давления от температуры можно подтвердить опытом. Будем объем газа в пробковом пистолете (рис. 177, а) сохранять постоянным. Повысим температуру газа, подогревая его на спиртовке (рис. 177, б). Пробка вылетит вследствие увеличения давления. Значит, чем выше температура газа, тем больше его давление; чем ниже температура, тем меньше давление.

## □ Главные выводы

1. Давление газа есть результат ударов частиц о стенки сосуда, в котором он находится.
2. Давление газа можно увеличить, если уменьшить его объем при постоянной температуре или, сохраняя объем газа, увеличить его температуру.
3. Давление газа можно уменьшить, если увеличить его объем при постоянной температуре или охладить газ, сохранив его объем.

## ? Контрольные вопросы

1. Вследствие чего возникает давление газа?
2. Как и почему меняется давление газа при изменении его объема?
3. Как и почему меняется давление газа при его нагревании или охлаждении?
4. Почему баллоны с газом рекомендуется хранить под навесом, куда не попадают солнечные лучи?
5. Из баллона израсходовали часть газа. Изменилось ли давление газа в баллоне, если температура осталась прежней?

## ▼ Для любознательных

Возрастание давления газа при его нагревании вызвано не только увеличением силы отдельных ударов. В холодном и горячем газе будет неодинаковым и среднее число ударов частиц о стенки сосуда за единицу времени (т. е. частота ударов). Подумайте, как влияет этот фактор на давление газа.

На баллоне с лаком для волос написано: «Предохранять от воздействия прямых солнечных лучей и нагревания выше  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ !» Объясните необходимость таких мер предосторожности с точки зрения физики.





## § 30.

### Передача давления газами и жидкостями. Закон Паскаля

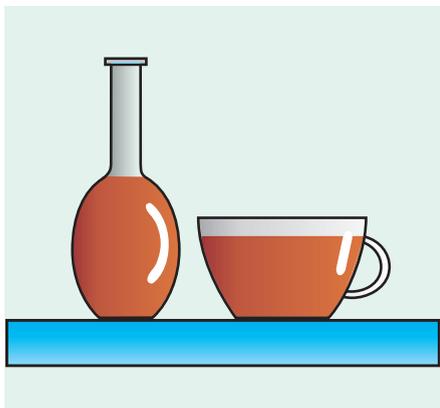


Рис. 178

Вы уже знаете, что частицы твердых тел (атомы, молекулы) жестко связаны между собой и могут совершать лишь хаотические колебательные движения около положений равновесия. У газов частицы движутся по всему объему хаотически поступательно. У жидкостей они совершают и хаотическое колебательное, и хаотическое поступательное движение. Значит, у газов и жидкостей подвижность частиц значительно выше, чем у твердых тел. Поэтому жидкости и газы не сохраняют своей формы, а принимают форму сосуда, в котором находятся (рис. 178).

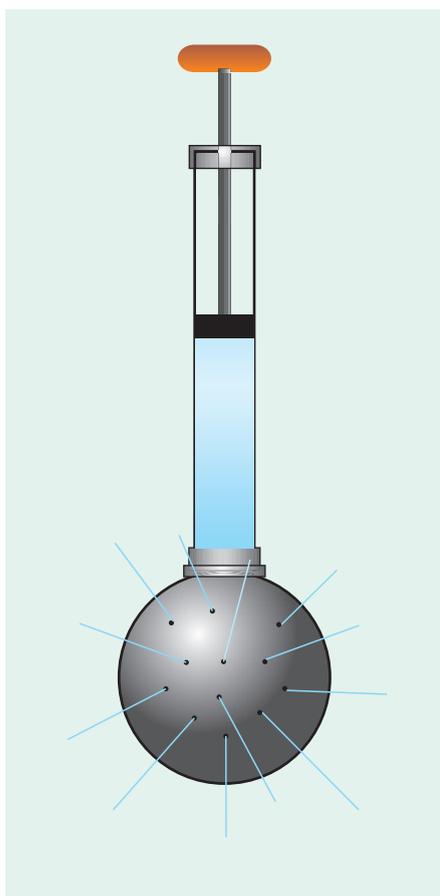


Рис. 179

Кроме того, некоторые законы для жидкостей и газов одинаковы. Рассмотрим один из них. Проведем опыт. Шар с отверстиями наполним водой и присоединим к трубке с поршнем. Будем перемещать поршень вниз. Мы заметим, что из всех отверстий начнут вытекать струйки воды (рис. 179). Как объяснить это явление?

Подвижность молекул воды приводит к тому, что они распределяются равномерно по всему объему. Сталкиваясь со стенками шара, молекулы воды действуют на стенки, создавая давление. Сжимая воду, мы уменьшаем объем и тем самым увеличиваем вначале давление непосредственно под поршнем. Благодаря подвижности молекул давление передается водой во все точки шара, и вода вытекает из отверстий во всех направлениях.

Аналогичный опыт можно провести с газом, например с воздухом. При нажатии на поршень струйки воздуха через отверстия шара будут вытекать по всем направлениям.

Проведем еще один опыт. Через пробку в банку с водой вставим четыре трубки (рис. 180). Через

трубку 1 будем накачивать в банку воздух, увеличивая там его давление. **Увеличение внешнего давления (давления воздуха) на поверхность воды передается водой от слоя к слою по всем направлениям.** В результате вода во всех трубках поднимается, причем на одну и ту же высоту. Значит, давление в воде сбоку (трубка 2), снизу (трубка 3), сверху (трубка 4) на одной глубине одинаково.

А вспомните, как с одинаковым напором вытекают струйки воды из всех дыр, появившихся в шланге для полива огорода (рис. 181).

**Давление, производимое внешней силой на жидкость (газ), находящуюся в сосуде, передается жидкостью (газом) во все точки жидкости (газа) без изменения.** К такому выводу еще в XVII веке пришел французский ученый Блез Паскаль (см. форзац). Этот вывод называют *законом Паскаля*.

В твердых телах подвижность частиц ограничена. Эти тела не подчиняются закону Паскаля. Если вы поставите на стол гирю, то ее вес создаст давление лишь на площадь поверхности стола под гирей, т. е. только в направлении действия силы.

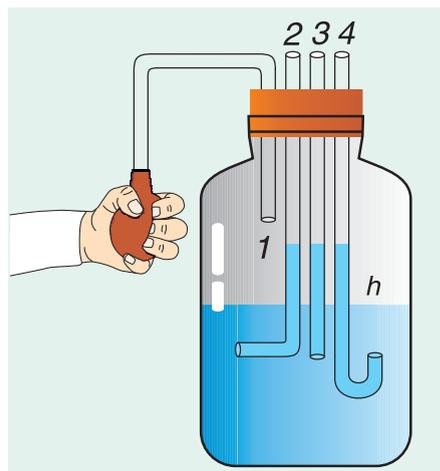


Рис. 180



Рис. 181

## ■ Главные выводы

1. Частицы жидкости и газа обладают подвижностью.
2. Благодаря подвижности частиц жидкости и газы передают производимое на них давление во все точки без изменения.
3. Твердые тела передают давление только в направлении действия силы давления.

## ? Контрольные вопросы

1. Какими общими свойствами обладают жидкости и газы?
2. Как жидкости и газы передают производимое на них давление?
3. Почему к твердым телам не применим закон Паскаля?
4. Как будет протекать опыт с шаром (см. рис. 179), если маленькое отверстие сделать и в самом поршне?
5. Объясните, будет ли закон Паскаля выполняться в условиях невесомости.





## § 31.

### Давление жидкости, обусловленное ее весом

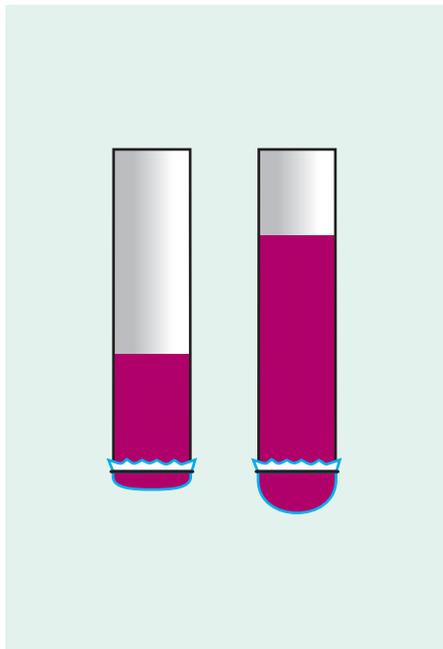


Рис. 182

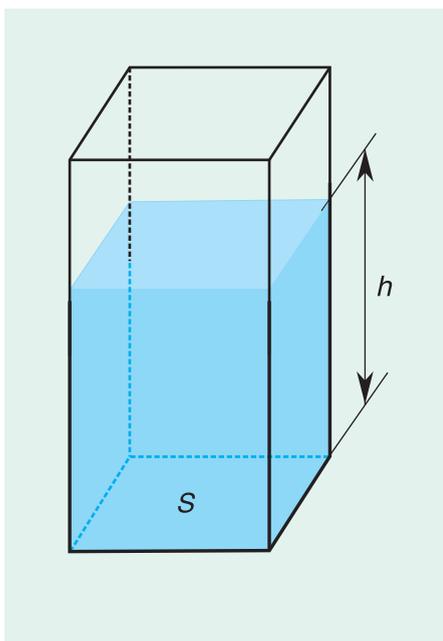


Рис. 183

Благодаря подвижности частиц (атомов, молекул) жидкость принимает форму того сосуда, в который она налита. Если на жидкость действует внешняя сила давления, то жидкость передает созданное этой силой давление во все точки. Но жидкость создает давление и за счет своего веса, причем не только на дно сосуда, но и на стенки.

В том, что жидкость давит на дно сосуда, можно убедиться, используя эластичный полиэтиленовый пакет или трубку, нижний конец которой закрыт резиновой пленкой. Постепенно наливая подкрашенную воду в сосуд, мы обнаружим увеличивающийся прогиб пленки (рис. 182).

Причиной увеличения прогиба является рост давления воды на пленку. Притягиваясь к Земле, жидкость давит своим весом на пленку подобно тому, как давит на стол стопка книг. **Давление неподвижной жидкости, обусловленное ее весом, называют гидростатическим** (от лат. *hydros* — вода, *statis* — неподвижный).

Гидростатическое давление можно рассчитать. Так, давление столба жидкости высотой  $h$  на дно сосуда с вертикальными стенками и площадью дна  $S$  (рис. 183) равно  $p = \frac{F}{S}$ . Силой давления  $F$  является вес жидкости. Для неподвижной жидкости ее вес численно равен силе тяжести:

$$F = P = gm.$$

Выразим массу  $m$  жидкости через плотность  $\rho$  и объем  $V$ . Масса  $m = \rho V$ . Объем  $V = Sh$ , тогда  $m = \rho Sh$ . Подставим в формулу давления, получим:  $p = \frac{F}{S} = \frac{g\rho Sh}{S} = g\rho h$ ;

$$p = g\rho h.$$

Итак, давление жидкости на дно сосуда зависит от ее плотности и высоты столба жидкости.

Чем больше плотность жидкости и чем больше высота столба жидкости в сосуде, тем большее гидростатическое давление она оказывает на дно сосуда.

Выведенная формула справедлива для сосуда любой формы, даже если таким «сосудом» является пруд или океан.

Чтобы подтвердить формулу, к сосуду с эластичным дном присоединим измерительную систему (рис. 184). При замене цилиндрического сосуда (а) на конические (б и в) (сосуды имеют одинаковую площадь дна и равные высоты столбов жидкости) прибор показывает равные силы давления. Значит, давления жидкости на дно всех сосудов равны, хотя масса жидкости в сосудах разная.

Формула  $p = grh$  позволяет найти давление не только на дно, но и на боковые стенки.

Действительно, давление на стенку на данной глубине, как и на дно, зависит от высоты столба жидкости. Подтвердим это опытом. Нальем в пластиковую бутылку с проколотыми в стенке отверстиями подкрашенную воду (рис. 185). Наблюдения за вытекающими струями показывают, что гидростатическое давление действует и на стенку бутылки. Его величина возрастает по мере увеличения высоты столба воды в бутылке над отверстием. По этой причине струя III падает дальше, чем струя I.

Чтобы объяснить это явление, разделим мысленно жидкость на слои 1, 2, 3, 4. На каждый нижний слой жидкости действует вес верхних ее слоев. Сила тяжести, действующая на слой 1, прижимает его к слою 2. Слой 2 передает производимое на него давление слоя 1 по всем направлениям. На слой 3 действует вес слоев 1, 2. Следовательно, давление в слое 3 больше, чем в слое 2. Наибольшим оно будет у дна сосуда.

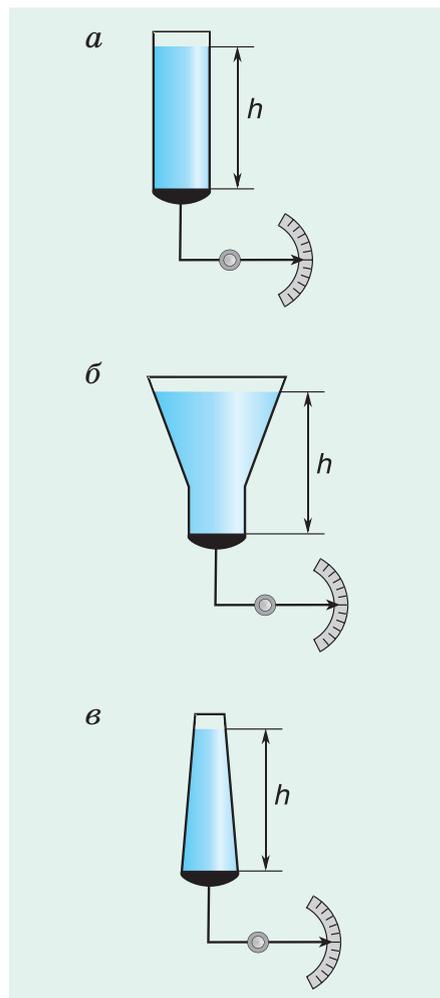


Рис. 184

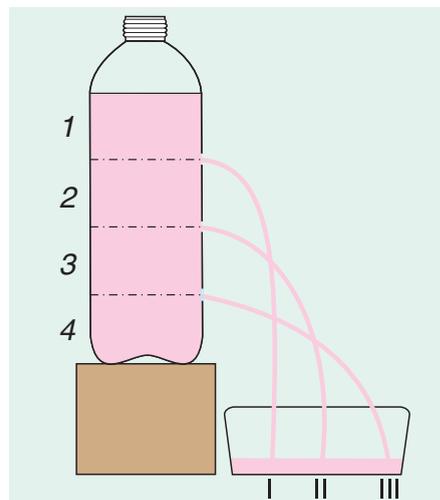


Рис. 185

## ■ Главные выводы

1. Гидростатическое давление обусловлено весом покоящейся жидкости.
2. Гидростатическое давление на данной глубине зависит от плотности жидкости и высоты столба жидкости.
3. Гидростатическое давление на боковую стенку сосуда и на поверхность находящегося в жидкости тела на глубине  $h$  равно  $g\rho h$ .

## ? Контрольные вопросы

1. Что такое гидростатическое давление?
2. От каких величин зависит значение гидростатического давления?
3. Почему гидростатическое давление не зависит от площади дна сосуда?
4. Как определить давление на дно сосуда, в который налиты слой воды и слой керосина?
5. Можно ли создать большое гидростатическое давление, имея небольшое количество жидкости?
6. Возможно ли гидростатическое давление в космическом корабле, на других небесных телах (Луне, Марсе)?



## Для любознательных

Гидростатическое давление — главное препятствие для проникновения людей в глубины Мирового океана. Уже на глубине 2,5 м нетренированный ныряльщик испытывает боль в ушах из-за давления воды на барабанные перепонки.



Корпуса подводных лодок, изготовленные из прочнейших сталей, на глубине в несколько сотен метров находятся на грани превышения допустимой прочности. Тогда почему рыбы на большой глубине чувствуют себя комфортно? Оказывается, вода давит на рыб не только извне, но и изнутри, т. е. происходит компенсация сил давления.



## Пример решения задачи

Определите глубину водоема, если давление воды на его дне  $p = 100$  кПа. Какая сила давления воды действует на ракушку с площадью поверхности  $S = 10$  см<sup>2</sup>, лежащую на дне? Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

<p>Дано:</p> $p = 100 \text{ кПа} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $S = 10 \text{ см}^2 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$	<p>Решение</p> <p>Давление воды на глубине <math>h</math> равно:</p> $p = g\rho h, \text{ откуда } h = \frac{p}{g\rho},$ <p>где <math>\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}</math> (плотность воды).</p> $h = \frac{1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 10 \text{ м.}$
<p><math>h</math> — ?</p> <p><math>F</math> — ?</p>	
<p>Сила давления:</p> $F = p \cdot S;$ $F = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 100 \text{ Н} = 0,10 \text{ кН.}$	
<p>Ответ: <math>h = 10 \text{ м}; F = 0,10 \text{ кН.}</math></p>	

### Упражнение 13

1. Одинаково ли давление на дно двух сосудов, в которые налиты до одинаковой высоты вода и керосин? Почему?

2. Какое гидростатическое давление действует на ныряльщика, погружившегося на глубину  $h = 20,0 \text{ м}$ ? Какова там сила давления воды на барабанную перепонку, если площадь перепонки  $S = 0,80 \text{ см}^2$ ? Коэффициент  $g$  в этой и последующих задачах примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

3. Определите толщину слоя воды, который оказывает давление  $p_1 = 1,0 \text{ Па}; p_2 = 100\,000 \text{ Па}$ .

4. Резиновая камера заполнена водой и соединена со стеклянной трубкой (рис. 186). На камеру положена доска массой  $m_1 = 1,0 \text{ кг}$  и гиря массой  $m_2 = 5,0 \text{ кг}$ . Определите площадь доски, если высота столба воды в трубке  $h = 1,0 \text{ м}$ .

5. В цилиндрический сосуд налиты вода и машинное масло, массы которых равны. Найдите высоту каждого из столбов, если полное гидростатическое давление на дно  $p = 1,8 \text{ кПа}$ . Решите задачу для случая, когда равны не массы жидкостей, а их объемы.

 6. Сосуд в форме куба с ребром  $a = 1 \text{ м}$  заполнен доверху водой. Во сколько раз различаются силы давления воды на дно и на одну из стенок?

 7. В сосуде с водой плавает кусок льда. Что произойдет с уровнем воды в сосуде, когда лед растает? Указание: при таянии льда образуется вода, масса которой в точности равна массе растаявшего льда.

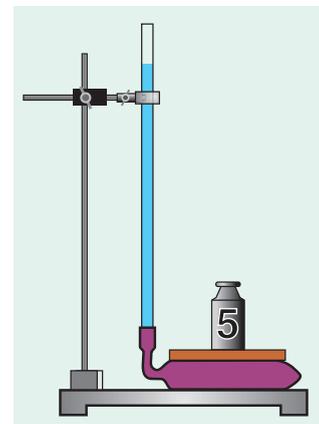


Рис. 186



## § 32.

### Сообщающиеся сосуды

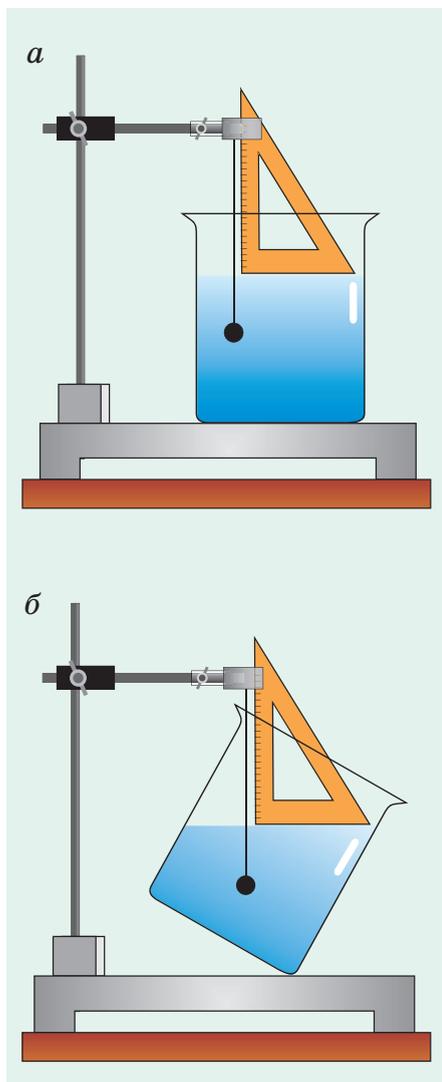


Рис. 187

Действие на жидкость силы тяжести и подвижность ее молекул приводят к тому, что в широких сосудах поверхность жидкости устанавливается горизонтально. Это легко проверить с помощью прямоугольного треугольника (рис. 187, *а*, *б*). Горизонтальной будет поверхность жидкости и в сосудах, соединенных между собой, независимо от их формы.

Возьмем несколько соединенных между собой открытых сосудов. Их называют *сообщающимися*. Будем наливать в один из них воду. Вода перетечет в остальные сосуды и установится во всех сосудах на одном уровне (рис. 188) (если сосуды не очень узкие). Почему это происходит?

Рассмотрим самые простые сообщающиеся сосуды (рис. 189). Выделим внутри тонкий слой жидкости  $AA'$ . Как и вся жидкость, он неподвижен. Значит, слева и справа на него действуют силы, имеющие равные модули, но противоположные направления. Это силы давления столбов жидкости  $F_{д1} = F_{д2}$ . Но, чтобы модули этих сил были равны, необходимо, чтобы были одинаковыми давления, создаваемые левым и правым столбами жидкости, т. е.  $g\rho h_1 = g\rho h_2$ .

После сокращения получим:  $h_1 = h_2$ .

**В открытых сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одинаковом уровне.**

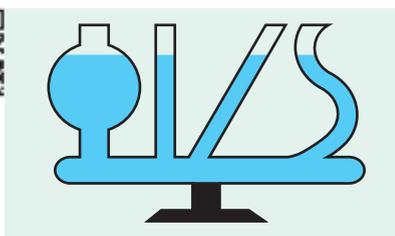


Рис. 188

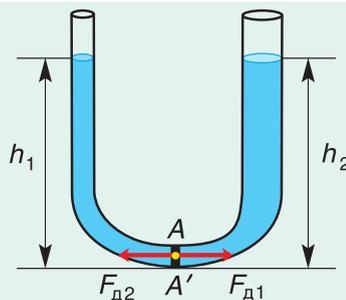


Рис. 189

С сообщающимися сосудами вы встречаетесь постоянно: это чайники, лейки для полива (рис. 190, а), водомерные трубки в больших емкостях с водой или топливом (рис. 190, б). На принципе действия сообщающихся сосудов работает, к примеру, безнасосный фонтан (рис. 190, в).

Сложную систему сообщающихся сосудов используют в дачных поселках и деревнях в башенном водопроводе. Схема простейшего водопровода представлена на рисунке 191. Вода из артезианского источника насосом 1 подается в бак водонапорной башни 2. От бака идут трубы с ответвлениями, вводимыми в дома на все этажи. Концы ответвлений труб закрываются кранами. Давление воды в кране определяется высотой столба воды в башне над уровнем крана. Поэтому чем выше этаж, тем давление воды в кране меньше. Чтобы вода смогла достигать всех этажей, башни строят высокими.

А если вам потребуется строго горизонтально установить поверхность стола? Как в этом случае вам смогут помочь сообщающиеся сосуды? Приведите еще примеры использования сообщающихся сосудов.

Все полученные в этом параграфе закономерности справедливы для широких сосудов, в которых поверхности жидкости плоские. В очень узких сосудах (капиллярах) поверхности жидкости искривляются (рис. 192), и данные закономерности не выполняются.

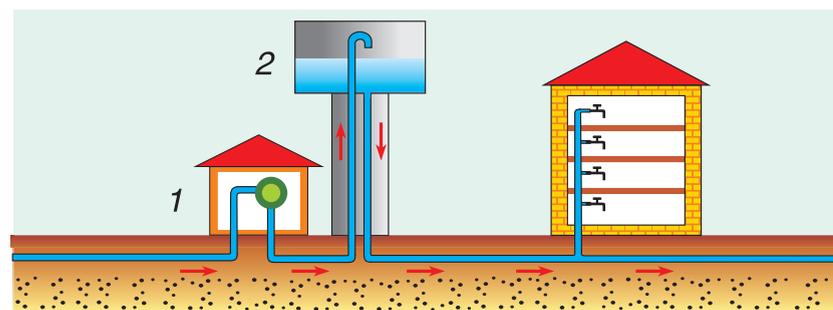


Рис. 191

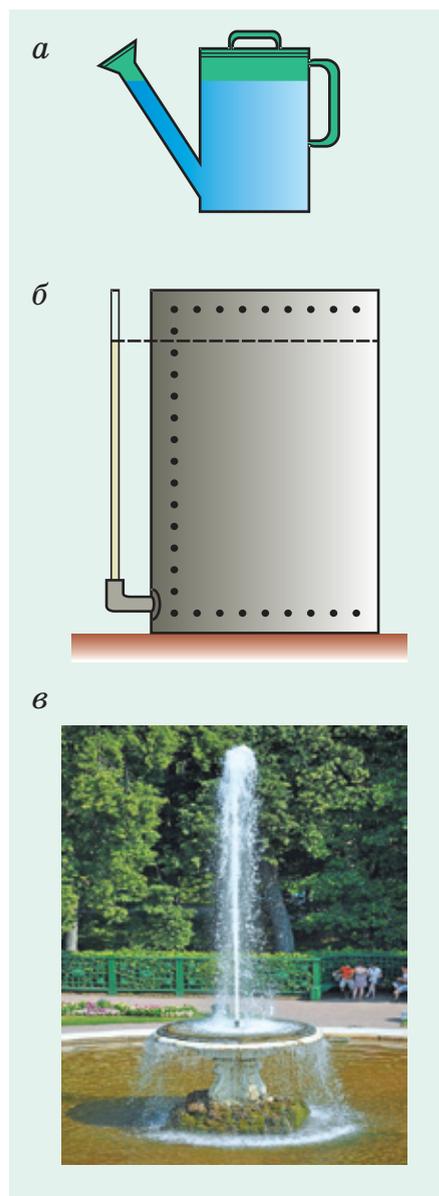


Рис. 190

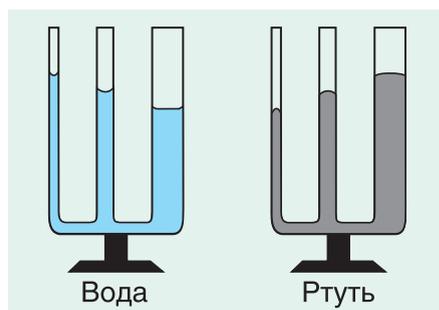


Рис. 192

## □ Главные выводы

1. В широких неподвижных сосудах поверхность жидкости всегда горизонтальна.
2. Уровень поверхностей однородной жидкости в открытых сообщающихся сосудах одинаков и не зависит от формы сосудов.

## ? Контрольные вопросы

1. Какие сосуды называются сообщающимися?
2. Как доказать равенство уровней поверхности однородной жидкости в открытых сообщающихся сосудах?
3. Где находят практическое применение сообщающиеся сосуды?
4. Как располагаются поверхности различных несмешивающихся жидкостей в сообщающихся сосудах? Почему?



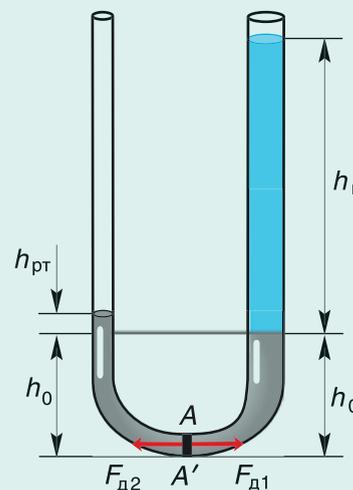
## ▼ Для любознательных

Что мы будем наблюдать, если в сообщающиеся сосуды налиты разные жидкости, например ртуть и вода (см. рис.)? В таком случае для равновесия тонкого слоя  $AA'$  нужно, чтобы давление, создаваемое левым (ртутным) столбом высотой  $h_{рт} + h_0$ , было равно давлению правого столба воды и ртути высотой  $h_в + h_0$ , т. е.  $g\rho_{рт}(h_{рт} + h_0) = g\rho_в h_в + g\rho_{рт} h_0$ , откуда  $\rho_{рт} h_{рт} = \rho_в h_в$ . Используя свойства пропорции, запишем окончательно:

$$\frac{h_{рт}}{h_в} = \frac{\rho_в}{\rho_{рт}}.$$

Посмотрите в таблицу плотностей жидкостей (с. 73). Плотность ртути в 13,6 раза больше плотности воды. Значит,  $h_{рт}$  будет в 13,6 раза меньше  $h_в$ .

**В открытых сообщающихся сосудах высоты столбов несмешивающихся жидкостей над уровнем их раздела обратно пропорциональны плотностям жидкостей.**





### Пример решения задачи

Поверхность воды в водонапорной башне находится на  $h = 40$  м выше кухонного водопроводного крана. Определите давление воды в кране. Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$h = 40 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$p = ?$

Решение

Давление в кране создается столбом воды высотой  $h = 40$  м;  $p = g\rho h$ , где  $\rho$  — плотность воды;  
 $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$$p = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 40 \text{ м} = 4,0 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Ответ:  $p = 4,0 \cdot 10^5$  Па.

### Упражнение 14

1. При заливке воды в сообщающиеся сосуды в одной из трубок образовался воздушный пузырь. Это не позволило уровням стать одинаковыми (рис. 193). В какой из трубок застрял воздушный пузырь?

2. В сообщающиеся сосуды различного поперечного сечения налита вода. Будут ли одинаковы в сосудах:

- а) массы воды  $m_1$  и  $m_2$ ;
- б) объемы воды  $V_1$  и  $V_2$ ;
- в) высоты уровней поверхностей воды  $h_1$  и  $h_2$ ;
- г) гидростатическое давление  $p_1$  и  $p_2$  на одном и том же уровне?

3. Давление воды в кране водопроводной трубы, проходящей по дачному участку,  $p = 200$  кПа. Определите высоту от уровня крана до поверхности воды в баке водонапорной башни.

4. Сообщающиеся сосуды, площади сечения которых различаются в 2 раза, заполнены водой. Определите вес воды в узкой трубке, если вес воды в широкой трубке равен  $P_1 = 1,2$  Н.

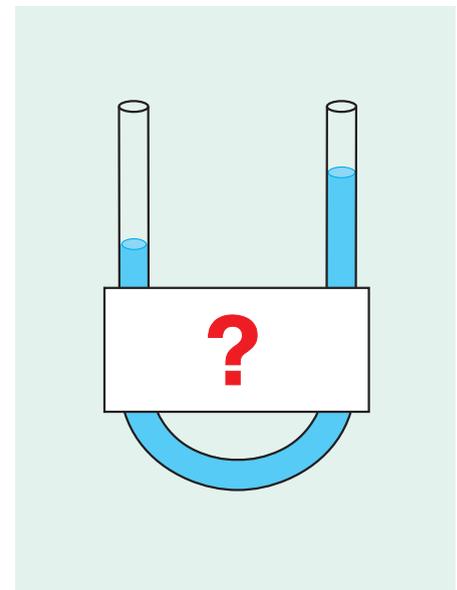


Рис. 193

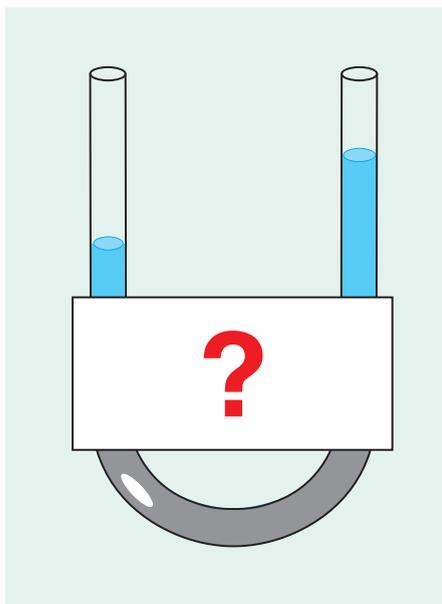


Рис. 194

5. В сообщающиеся сосуды налили воду и керосин. Определите высоту столба керосина, если высота столба воды, расположенного выше уровня раздела,  $h_B = 7,2$  см.

6. В U-образную трубку сначала налили ртуть, а поверх нее — воду (рис. 194). Высота столба воды в левом колене  $h_1$ , а в правом —  $h_2$ . Рассчитайте разность уровней ртути для случая, когда  $h_1 = 40$  см,  $h_2 = 67,2$  см.

7. На рисунке 195 схематично показано устройство шлюза — технического сооружения, позволяющего осуществлять проход кораблей по рекам, имеющим разные уровни поверхности воды. Внимательно рассмотрите рисунок и опишите, как происходит проход кораблей с нижнего уровня А на верхний уровень В через шлюзовую камеру В.

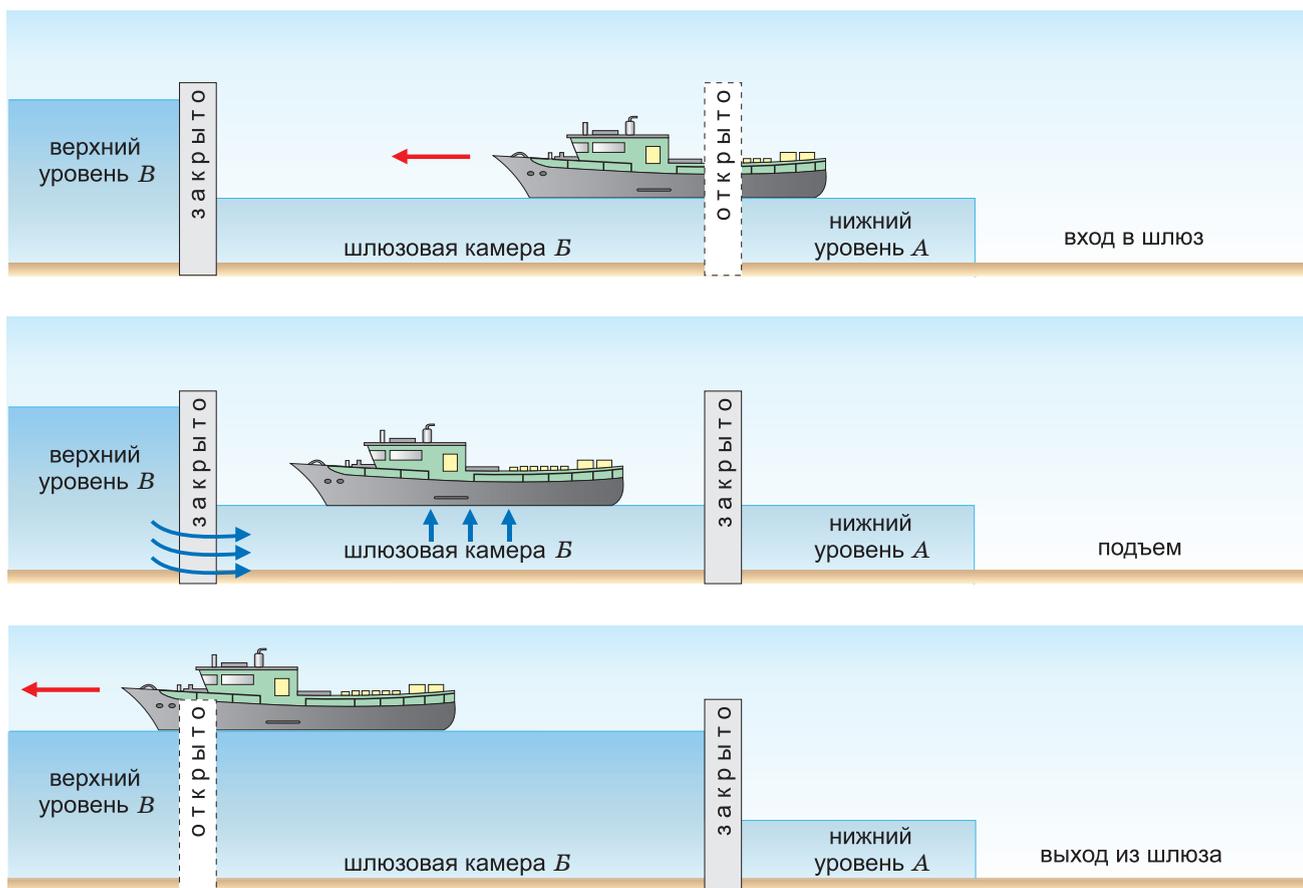


Рис. 195



## § 33.

### Газы и их вес

То, что жидкость имеет вес, никого не удивляет. Каждый из вас ощущал вес, держа в руке ведро воды (рис. 196), бутылку растительного масла или напитка. Однако мы не чувствуем изменения веса мяча при его накачивании воздухом. Почему?

Посмотрите в таблицу плотностей (с. 73) и сравните плотность воздуха и воды. Плотность воздуха почти в 800 раз меньше плотности воды.

Расчеты показывают, что, например, в сильно накачанном мяче вес воздуха находится в пределах 0,1 Н, а его масса около 10 г.

Покажем на опыте наличие у воздуха массы, а следовательно, веса. Уравновесим на весах стеклянный сосуд, заполненный воздухом. Откачаем насосом воздух и взвесим сосуд повторно. Он стал легче (рис. 197). Добавляя на чашу с сосудом разновес, можно узнать массу откачанного воздуха и его вес.

Воздушный слой, окружающий Землю (земная атмосфера), тоже имеет вес. На каждую молекулу этого слоя действует Земля силой тяжести. Молекулы земной атмосферы, если бы на них не действовала сила тяжести, двигаясь хаотично, давно покинули бы нашу планету. Но тяготение Земли стремится расположить их у поверхности, что приводит к неоднородности атмосферы. Ее плотность заметно убывает с высотой. Так, на высоте  $h_1 = 6$  км плотность воздуха уже в 2 раза меньше, чем у поверхности Земли. На высоте  $h_2 = 40$  км плотность  $\rho_2 = 0,004 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а на высоте  $h_3 = 400$  км, где летают спутники, об атмосфере можно говорить лишь условно, так как ее плотность  $\rho_3 = 3 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .



Рис. 196

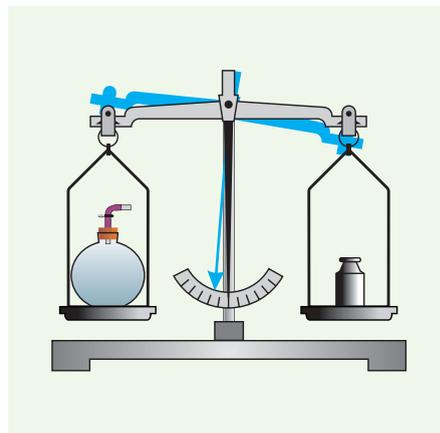


Рис. 197

## □ Главные выводы

1. Газы обладают массой и весом.
2. Земная атмосфера обладает весом вследствие действия на нее притяжения Земли.
3. Действие силы тяжести и хаотическое движение молекул приводят к неодинаковой плотности земной атмосферы.

## ? Контрольные вопросы

1. Как доказать, что газ (воздух) имеет массу?
2. Почему при указании плотности газа оговаривают условия, при которых находится газ?
3. Почему газы чаще всего используют сжатыми?
4. Как изменяется плотность воздуха с изменением высоты? Почему?

## ▼ Для любознательных

Обратите внимание, что приведенные в таблице 3 (с. 73) плотности газов указаны при нормальных условиях, т. е. при строго определенной температуре и давлении. При сжатии газов (и обычного воздуха) их плотности могут возрастать во много раз. Такие сильно сжатые газы, во-первых, очень удобны при транспортировке, например в баллонах с кислородом для сварки или в баллонах аквалангистов. Во-вторых, сжатые до высокого давления газы удобно использовать при работе отбойного молотка и пневматических (от греч. *pnéuma* — дуновение, дыхание) тормозов. Такие тормоза устанавливаются на мощных автомобилях, в том числе на автомобилях МАЗ и БелАЗ. Устройства для сжатия различных газов называют *компрессорами*.





## § 34.

### Атмосферное давление

Вы знаете, что атмосфера Земли — газовая оболочка. В ее состав входят азот, кислород, углекислый газ, водяные пары и другие газы (рис. 198).

Всякий газ, если он находится в сосуде, производит давление на стенки сосуда, так как молекулы газа непрерывно бомбардируют эти стенки. А производит ли давление атмосфера Земли? Чем обусловлено это давление?

Атмосфера Земли удерживается силой тяжести, действующей со стороны Земли. В результате действия этой силы верхние слои атмосферы давят на нижние. Поэтому нижний слой оказывается наиболее сжатым. Давление одного слоя атмосферы на другой по закону Паскаля передается по всем направлениям и действует на любое тело: на здания, на растения, на людей. Это давление называют *атмосферным*. Атмосферное давление по мере удаления от поверхности Земли уменьшается. Уменьшается толщина слоя воздуха и его плотность.

Атмосферное давление можно рассчитать. Результаты этих расчетов не могут не удивлять. Атмосферное давление равно примерно  $100\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ . Значит, на каждый квадратный сантиметр нашего тела действует сила 10 Н, а на всю площадь поверхности тела (примем ее за  $1 \text{ м}^2$ ) — сила 100 000 Н. Она равна весу десятитонного МАЗа! Как же мы живем под таким гигантским давлением?

Вспомните глубоководных рыб (рис. 199). Подобно им, мы просто не замечаем этой огромной сжимающей силы. Она компенсируется равной расширяющей силой, создаваемой давлением воздуха внутри нас (он растворен даже в нашей крови).

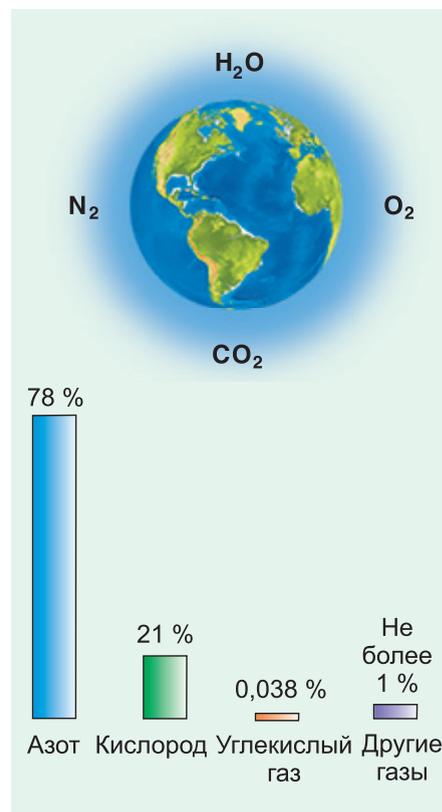


Рис. 198



Рис. 199

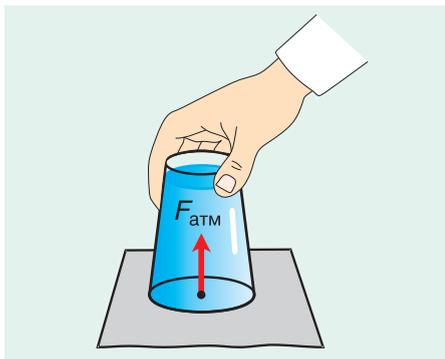


Рис. 200

Так что же, атмосферное давление вообще нельзя обнаружить? Для ответа на этот вопрос обратимся к опыту. Возьмем стакан с водой, накроем его листом бумаги, перевернем, придерживая рукой лист, а затем уберем руку (рис. 200). Мы видим, что вода из стакана не выливается, лист не отрывается. Сила атмосферного давления, приложенная к листу бумаги, компенсирует действие веса налитой воды и разреженного воздуха в стакане.



Рис. 201

Опустите иглу шприца в подкрашенную воду и поднимайте поршень вверх. Вы увидите, что жидкость поднимается вслед за поршнем (рис. 201) противоположно направлению действия силы тяжести. Сила атмосферного давления заставляет сок подниматься вверх по соломинке (рис. 202). Примеров проявления действия атмосферного давления много.

Как измерить атмосферное давление? Рассмотрим наиболее важный из опытов, проведенный в 1643 г. по предложению итальянского физика и математика Эванджелисты Торричелли (см. форзац 1).



Рис. 202

В этом опыте запаянная с одной стороны метровая стеклянная трубка (рис. 203, а) заполнялась ртутью. Верхний конец трубки закрывался. Трубка переворачивалась и опускалась в широкий сосуд со ртутью, после чего отверстие открывалось. Часть ртути вытекала из трубки в сосуд. В трубке оставался столб ртути высотой  $H$  около 76 см (760 мм) (рис. 203, б).

Что же удерживало от вытекания оставшуюся в трубке ртуть? Широкий сосуд и трубка — это, по сути, уже известные вам сообщающиеся сосуды. Над ртутью в трубке воздуха нет. На ртуть в широком сосуде действует атмосферное давление, которое жидкая ртуть передает по всем направлениям, в том числе вверх. Сила этого давления и поддерживает ртутный столб.

Рассмотрим условия равновесия тонкого слоя ртути (на рисунке 203, б он обозначен желтым цветом). Это условие требует, чтобы сила атмосферного давления снизу и сила гидростатического давления столба ртути сверху были равны. А это значит, что  $p_{\text{атм}} = p_{\text{гидрост}}$ . Таким образом, измерив высоту столба ртути  $H$ , мы можем рассчитать его давление по формуле  $p_{\text{гидрост}} = g\rho H$  и тем самым определить величину атмосферного давления.

Поскольку атмосферное давление определяется высотой столба ртути, то понятно, почему очень часто его измеряют не в международных единицах (паскалях), а в миллиметрах ртутного столба.

Выразим в паскалях внесистемную единицу давления 1 миллиметр ртутного столба (сокращенно 1 мм рт. ст.):

$$p_{1 \text{ мм рт. ст.}} = g\rho h = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133 \text{ Па.}$$

По договоренности атмосферное давление считают нормальным, если оно равно давлению столба ртути высотой  $h = 760 \text{ мм}$  при температуре  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Такое давление называют *одной нормальной* или *физической атмосферой* (сокращенно 1 атм):

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101\,293 \text{ Па.}$$

В большинстве случаев мы будем использовать округленное значение:  $1 \text{ атм} \approx 100 \text{ кПа}$ .

Атмосферное давление играет важную роль в работе многих бытовых и технических устройств. Оно лежит в основе работы пипетки, шприца и др. Знакомые многим резиновые присоски (рис. 204) используются как в быту, так и на заводах для переноса сложнейших узлов электроники, прикосновение к которым (даже в перчатках) совершенно недопустимо.

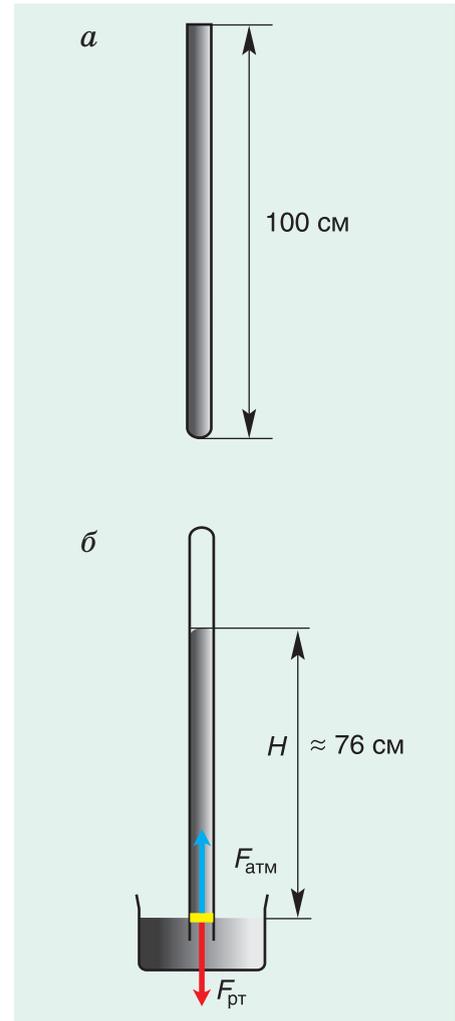


Рис. 203



Рис. 204

### □ Главные выводы

1. Удерживаемая земным притяжением атмосфера Земли производит давление.
2. Человек не ощущает атмосферного давления, так как оно действует как снаружи, так и изнутри него.
3. За нормальное атмосферное давление принято давление столба ртути высотой 760 мм.

### ? Контрольные вопросы

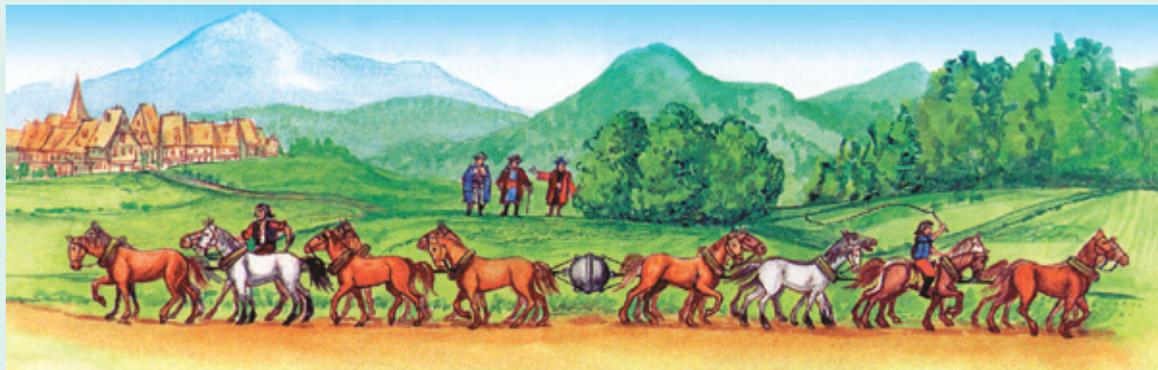
1. Что называется атмосферным давлением?
2. Какова причина существования атмосферного давления?
3. В чем значение опыта Торричелли?
4. Назовите все известные вам единицы атмосферного давления.

### → Домашнее задание

Налейте в пластиковую бутылку горячей воды. Через минуту вылейте воду и закройте бутылку крышкой. Бутылку охладите. Объясните причину деформации бутылки.

### ▼ Для любознательных

В середине XVII в. в немецком городе Магдебурге ученым Отто фон Герике был проведен опыт-спектакль. Из пространства между двумя одинаковыми медными полушариями был откачан воздух. Для разрыва полушарий, т. е. для преодоления сил атмосферного давления, потребовалось 8 пар самых сильных лошадей. Разрыв сопровождался сильным хлопком, подобным звуку выстрела.



### Упражнение 15

1. Почему трудно пить сок из бутылки или пакета, не впуская в них воздух?

2. Почему абсолютно недопустима потеря герметичности скафандра космонавта, работающего в открытом космосе?

3. Выразите в килопаскалях атмосферное давление:

а)  $p_1 = 10$  м водяного столба;

б)  $p_2 = 750$  мм рт. ст.

4. Определите высоту столба ртути, который уравнивается атмосферным давлением  $p = 100$  кПа.

5. Почему в опыте Торричелли использовалась ртуть, а не вода?

6. При каком значении атмосферного давления на обложку лежащей на столе книги площадью поверхности  $S = 4,0$  дм<sup>2</sup> действует сила давления  $F = 3,6$  кН?

 7. Объясните принцип действия пипетки (рис. 205).

 8. На рисунке 206 схематически изображено устройство всасывающего насоса: 1 — цилиндрическая трубка; 2 — поршень; 3, 4 — металлические клапаны; 5 — шток и ручка. Как работает насос?

 9. Кубик с ребром, равным  $a = 50$  мм, массой  $m = 900$  г лежит на дне сосуда (рис. 207), в который налита вода на высоту  $h = 15$  см. Определите вертикальную силу, которую надо приложить в центре верхней грани кубика, чтобы оторвать его ото дна. Вода под кубик не проникает. Атмосферное давление равно  $p = 760$  мм рт. ст. Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .



Рис. 205

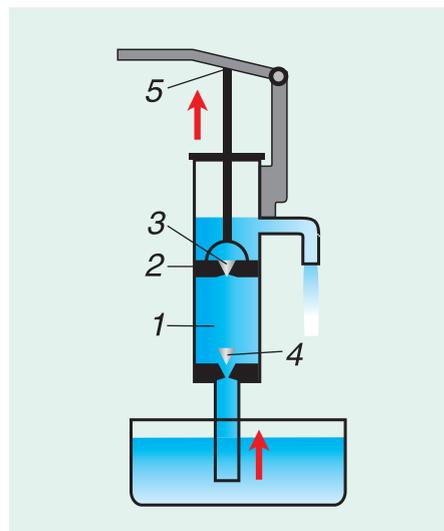


Рис. 206

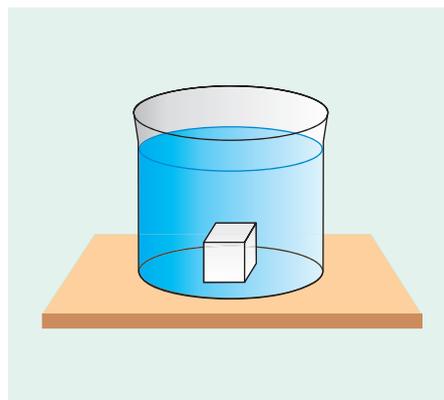


Рис. 207



## § 35.

### Измерение атмосферного давления. Барометры и манометры



Рис. 208



Рис. 209

Ежедневно мы получаем информацию о величине атмосферного давления и его изменении. Почему оно не является постоянным? Почему на разных территориях Земли давление разное? Как давление зависит от высоты?

Атмосферное давление зависит от состава воздуха. Так, например, при поступлении влажного воздуха, насыщенного водяными парами, давление уменьшается. Это обусловлено тем, что масса молекул воды заметно меньше массы других молекул атмосферы — азота, кислорода и др.

Наиболее сжатыми, а значит, более плотными являются прилегающие к поверхности Земли слои атмосферы. Следовательно, значение атмосферного давления зависит от высоты места над уровнем моря. На вершине самой высокой ( $h = 8848$  м) горы Эверест (рис. 208) давление почти в 3 раза меньше, чем у ее подножия.

Вода, как и другие жидкости, практически несжимаема. Поэтому давление жидкости от высоты столба зависит прямо пропорционально ( $p = g\rho h$ ). Зависимость же атмосферного давления от высоты описывается гораздо более сложной формулой. Однако для расчетов, не требующих большой точности (при не очень больших высотах), можно считать, что **при подъеме на каждые 12 м давление убывает на 1 мм рт. ст.** Зависимость давления от высоты можно использовать для измерения высоты подъема (альпинистов, летательных аппаратов).

Так, если при подъеме давление уменьшилось на 20 мм рт. ст., то это значит, что высота подъема:

$$h \approx 20 \text{ мм рт. ст.} \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{мм рт. ст.}} \approx 240 \text{ м.}$$

Приборы, измеряющие высоту по такому принципу, называют *альтиметрами* (рис. 209) (от лат. *altus* — высокий и *metron* — мера).

Атмосферное давление измеряют *барометрами* (от греч. *baros* — тяжесть и *metron* — мера). Простейшим барометром является сосуд со ртутью и трубка, используемые в опыте Торричелли (см. рис. 203). Однако ртутные барометры не находят широкого применения, хотя имеют высокую точность. Пары ртути вредны для человека. На практике в основном пользуются металлическим барометром — *анероидом*. Хотя он менее точен, чем ртутный, но совершенно безопасен.

Внешний вид и внутреннее устройство барометра-анероида представлены на рисунке 210, *а, б*. Главной частью анероида является металлическая коробочка *1* с волнистой (гофрированной) верхней и нижней поверхностями. Воздух из коробочки откачан до большого разрежения.

Когда повышается давление снаружи корпуса, т. е. атмосферное давление, то гофрированные поверхности коробочки прогибаются внутрь и тянут прикрепленную к ним упругую пластинку *2*. Уменьшение атмосферного давления возвращает гофрированную поверхность в исходное положение. Если давление далее уменьшается, то поверхность выпячивается вверх. Стрелка барометра *4* с помощью передаточного механизма *3* опускается по шкале против часовой стрелки, показывая уменьшение давления.

Шкалу анероида предварительно градуируют, т. е. наносят деления по показаниям ртутного барометра. Значения давления на шкале выражены в миллиметрах ртутного столба и в гектопаскалях (гПа).

Для измерения разности давления в сосуде и атмосферного давления служат *манометры* (от греч. *manos* — неплотный и *metron* — мера). Простейший манометр — жидкостный. Он представляет собой U-образную трубку с жидкостью (рис. 211). Одно колено трубки присоединяется к сосуду, давление в котором необходимо измерить. Другое

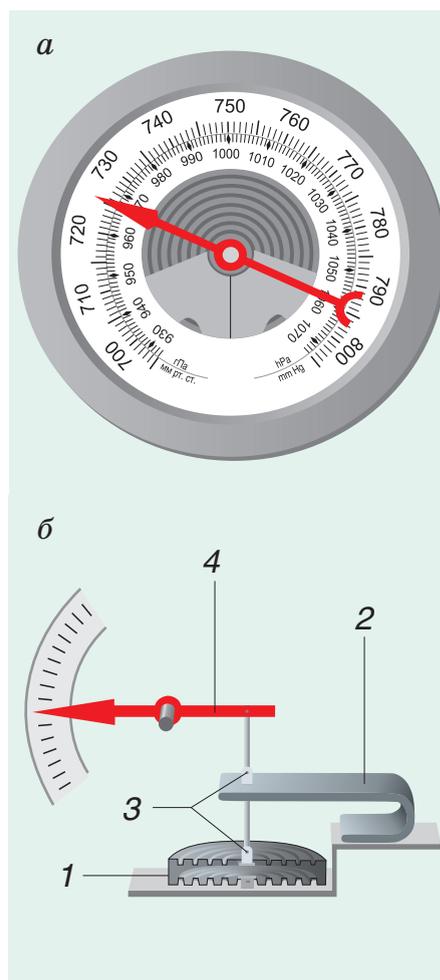


Рис. 210

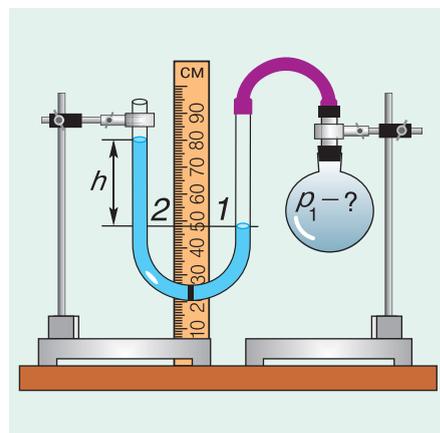


Рис. 211

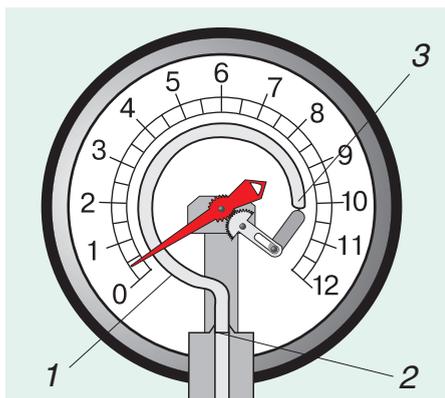


Рис. 212

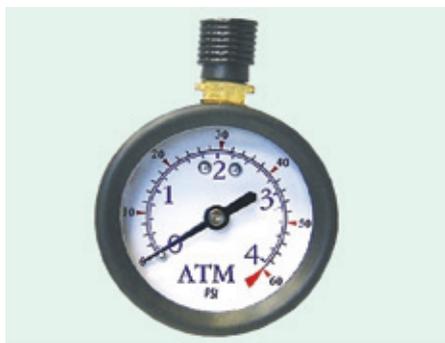


Рис. 213

колени открыто. Если уровень поверхности жидкости в колене, соединенном с сосудом, ниже, чем в открытом, значит, давление газа  $p_1$  в сосуде больше атмосферного  $p_0$  на величину давления столба жидкости высотой  $h$ , т. е.  $p_1 - p_0 = \rho g h$ .

А если давление газа в несколько раз больше атмосферного? Для измерения высоких давлений применяют металлический манометр (рис. 212). Его основным элементом является полая тонкостенная металлическая трубка 1, согнутая в дугу. Один конец трубки 3 закрыт, другой 2 присоединяется к сосуду с газом. Закрытый конец 3 через зубчатый механизм соединен со стрелкой, движущейся относительно шкалы. Чем больше давление в трубке (а значит, в сосуде), тем больше распрямляется трубка и тем больше отклоняется стрелка. Нуль на шкале соответствует атмосферному давлению. Значит, если стрелка стоит на цифре «8», давление в сосуде в 9 раз больше атмосферного. Именно так устроен манометр для контроля давления в автомобильных шинах (рис. 213).

### ■ Главные выводы

1. Атмосферное давление зависит от высоты местности и метеоусловий.
2. Зависимость атмосферного давления от высоты и метеоусловий можно использовать для измерения высоты и для прогноза погоды.
3. Атмосферное давление измеряют барометрами, а давление газов в сосудах — манометрами.

### ? Контрольные вопросы

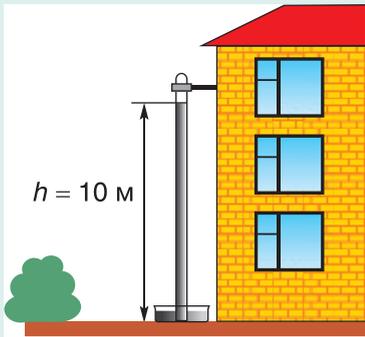
1. Почему, когда самолет набирает высоту или идет на посадку, пассажиры испытывают боль в ушах?
2. Какими приборами измеряется атмосферное давление?
3. Можно ли, имея барометр, измерить высоту горы? Что можно сказать о точности таких измерений? Почему?
4. Почему большие давления нельзя измерить жидкостным манометром?
5. Какой барометр измеряет давление точнее — ртутный или барометр-анероид? Почему?

▼ Для любознательных

Жидкостными манометрами можно измерять давление, отличающееся от атмосферного лишь незначительно. Так, если в примере на страницах 127—128 давление в сосуде будет в 2 раза больше атмосферного, т. е.  $p_1 = 2p_0$ , то согласно формуле  $p_1 = p_0 + \rho gh$  имеем:

$$\rho gh = 2p_0 - p_0, \text{ откуда}$$

$$h = \frac{p_0}{\rho g}.$$



При использовании в манометре воды

$$h = \frac{100\,000 \text{ Па}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 10 \text{ м}.$$

Представьте размеры такого прибора! При использовании ртути размеры уменьшаются в 13,6 раза, но возникают новые проблемы — пары ртути ядовиты.

 Пример решения задачи

У подножия горы барометр показывает давление  $p_1 = 750$  мм рт. ст., а на ее вершине —  $p_2 = 740$  мм рт. ст. Определите высоту данной горы.

Дано:

$$p_1 = 750 \text{ мм рт. ст.}$$

$$p_2 = 740 \text{ мм рт. ст.}$$

$H$  — ?

Решение

Разность давлений у подножия горы и на ее вершине:

$$p_1 - p_2 = 750 \text{ мм рт. ст.} - 740 \text{ мм рт. ст.} = 10 \text{ мм рт. ст.}$$

Учтем, что на 1 мм рт. ст. давление уменьшается при подъеме примерно на высоту  $h_0 = 12$  м. Тогда высота горы:

$$H = 12 \frac{\text{м}}{\text{мм рт. ст.}} \cdot 10 \text{ мм рт. ст.} = 120 \text{ м}.$$

Ответ:  $H = 120$  м.

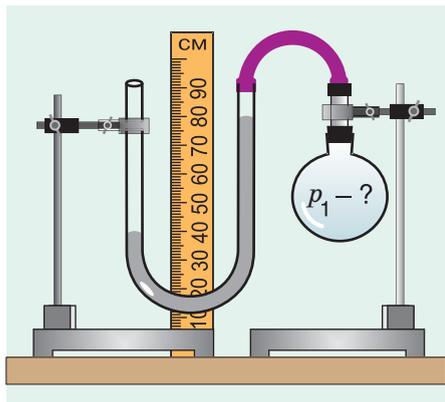


Рис. 214

### Упражнение 16

1. Почему в Минске почти не бывает давления, принятого за нормальное? (Практически целый год в Минске давление меньше 760 мм рт. ст.)

2. В классе на первом этаже барометр показывает давление  $p_1 = 750$  мм рт. ст., а на берегу озера —  $p_2 = 753$  мм рт. ст. Определите, на какой высоте над уровнем озера расположена школа.

3. Здание имеет высоту  $h = 189$  м. На сколько и в какую сторону будет отличаться атмосферное давление на последнем и первом этажах этого здания?

4. Определите давление газа в колбе (рис. 214), если бы в манометре была использована ртуть. Какие значения давления можно было бы измерить этим манометром? Атмосферное давление примите равным  $p_{\text{атм}} = 100$  кПа.

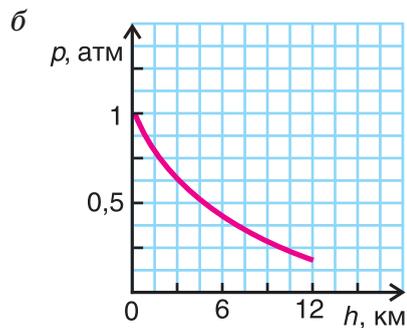
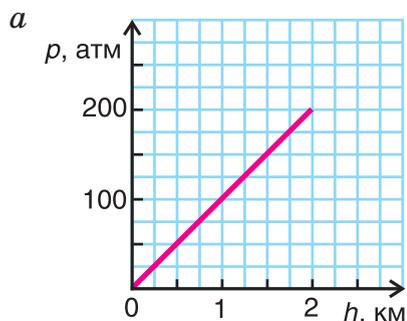


Рис. 215

5. На графиках представлено изменение давления с изменением расстояния от поверхности Земли в водном (рис. 215, а) и воздушном (рис. 215, б) океанах Земли. Какую информацию вы можете извлечь из данных графиков?

6. Внутри космических кораблей (в невесомости) космонавты дышат воздухом. Производит ли этот воздух давление? Можно ли это давление называть атмосферным?



### Темы проектных заданий

1. Давление. Его проявление в природе и технике.
2. Почему рыбам находиться на глубине безопаснее, чем человеку и технике?
3. Атмосферное давление. Его проявление в технике и быту.

# 5

## Работа. Мощность. Энергия

- Может ли совершать работу сила трения?
- Каким молотком — легким или тяжелым — можно забить гвоздь, совершив меньшее число ударов?
- В чем смысл пословицы:  
«Что потратил при подъеме в гору,  
вернул при спуске»?



## § 36.

### Механическая работа. Единицы работы

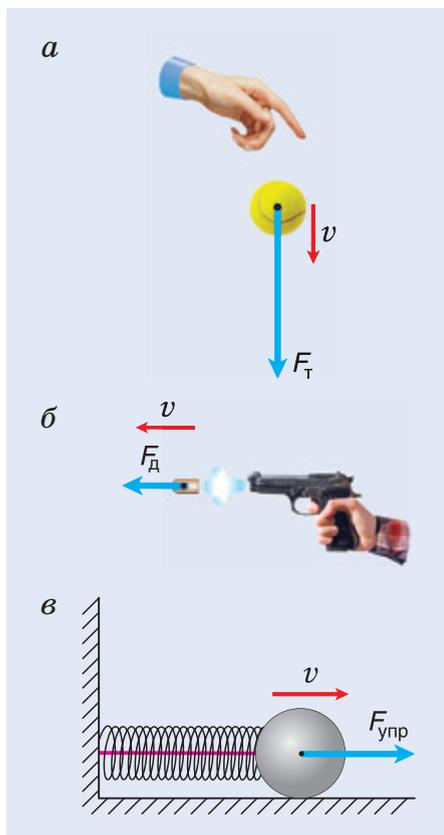


Рис. 216

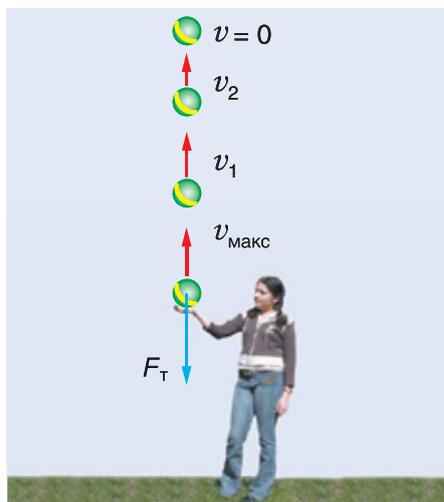


Рис. 217

Мы часто слышим от друзей: «Я сегодня выполнил большую работу: выучил наизусть стихотворение и решил пять задач по математике». Но с точки зрения физики никакой работы не совершено, даже если выучить наизусть целую поэму. Что же такое работа в физике?

В физике работа оценивает то, что вызвала сила, действуя на движущееся тело. Покажем это на примерах. Рассмотрите внимательно рисунок 216. Что общего в результатах действия силы тяжести на мяч (рис. 216, а), силы давления газа на пулю в пистолете (рис. 216, б) и силы упругости сжатой пружины на шарик (рис. 216, в) после пережигания нити? Все перечисленные силы вызывают разгон тел (мяча, пули, шарика), т. е. увеличение скорости движения.

А может ли сила, действующая на движущееся тело, уменьшать его скорость? Подбросьте мяч и наблюдайте за его движением вверх (рис. 217). Теперь сила тяжести уменьшает скорость его движения. Во всех случаях, когда сила изменяет скорость движения (увеличивает или уменьшает), говорят, что сила совершает механическую работу.

Механическая работа является физической величиной. Ее значение можно рассчитать. Рассмотрим самый простой случай: направление силы совпадает с направлением движения. Например, идет разгон спортивных саней (рис. 218). Изменение скорости саней, а значит, и работа по их разгону зависят от значения действующей силы (силы спортсменов, разгоняющих сани) и от пройденного санями пути. Чем больше сила и путь, тем большая совершается работа. Этот вывод справедлив для всех движущихся под действием силы тел.

Таким образом, механическая работа — физическая величина, пропорциональная действующей на тело силе и пройденному пути.

Обозначим работу буквой  $A$ . Тогда, если направление силы совпадает с направлением движения тела, то

$$\text{работа} = \text{сила} \cdot \text{путь}, \text{ или } A = F \cdot s.$$

Основной единицей работы в СИ является **1 джоуль (1 Дж)**. Названа она в честь известного английского физика Дж. П. Джоуля. **Один джоуль — это работа, совершаемая силой 1 Н на пути 1 м:**

$$1 \text{ джоуль} = 1 \text{ ньютон} \cdot 1 \text{ метр.}$$

Для измерения большой работы используют кратные джоулю единицы:

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

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

В случае малой работы применяются дольные единицы:

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

$$1 \text{ мкДж} = 0,000001 \text{ Дж} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}.$$

Из формулы работы следует, что если есть силы, но нет движения, то нет и работы. Например, сила тяжести, действующая на лежащий на полу мяч (рис. 219, а), работы не совершает, а в случае падающего мяча (рис. 219, б) — совершает.

Сила не всегда увеличивает скорость движения тела. Так, при движении мяча вверх (см. рис. 217) сила тяжести замедляет его движение. Аналогично при скольжении шайбы по льду сила трения уменьшает скорость движения шайбы. Работу силы (тяжести, трения) в подобных случаях считают отрицательной.

Но положительная и отрицательная работы могут совершаться одновременно и даже быть равными по абсолютной величине. В этом случае скорость движения постоянна. Например, электропоезд на данном участке пути движется равномерно. Это значит, что равнодействующая сил (тяги двигателя и сопротивления движению) равна нулю. Но и сила тяги, и сила сопротивления совершают работу. Только работа силы тяги  $A_T > 0$ , а силы сопротивления  $A_C < 0$ . Сумма же их равна нулю, т. е.  $A = A_T + A_C = 0$ .



Рис. 218

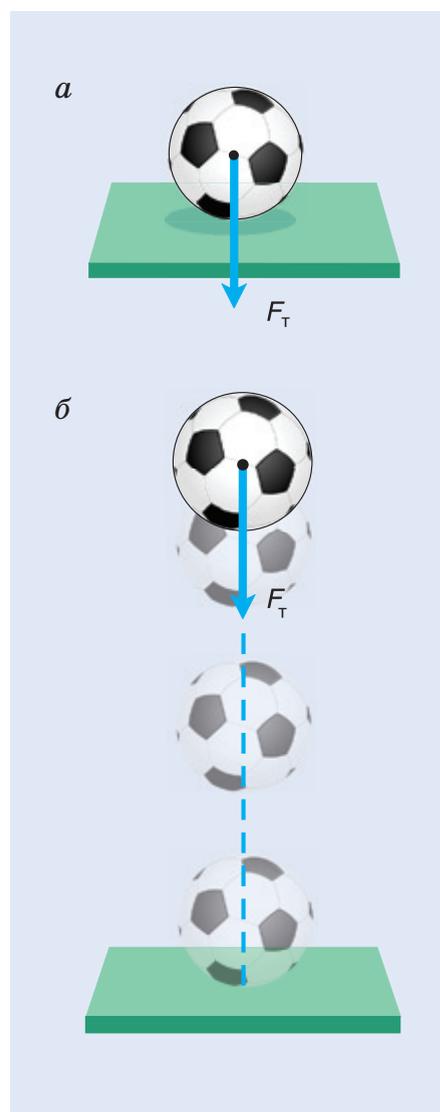


Рис. 219

## □ Главные выводы

1. Механическая работа характеризует результат действия силы на движущееся тело и пропорциональна действующей на тело силе и пройденному телом пути.
2. Силы, ускоряющие движение тела, совершают положительную работу.
3. Силы, замедляющие движение тела, совершают отрицательную работу.
4. Основная единица работы в СИ — 1 джоуль.

## ? Контрольные вопросы

1. Что характеризует механическая работа?
2. От чего зависит значение совершенной работы?
3. Что принято в СИ за основную единицу работы?
4. В каком случае силой совершается отрицательная работа?

## ✎ Пример решения задачи

Подъемный кран равномерно поднимает с земли бетонную плиту массой  $m = 500$  кг на один из этажей строящегося дома. Сила упругости троса при этом совершает работу  $A = 100$  кДж. Определите, на какой этаж была поднята плита, если высота одного этажа  $h_0 = 4,0$  м. Чему равна работа равнодействующей сил, приложенных к плите? Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$m = 500 \text{ кг} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ кг}$$

$$A = 100 \text{ кДж} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

$$h_0 = 4,0 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$N \text{ — ? } A_p \text{ — ?}$$

Решение

При равномерном подъеме сила упругости троса равна силе тяжести, действующей на плиту:  $F_{\text{упр}} = gm$ .

Работа силы упругости  $A = gmh$ . Высота подъема  $h = N_1 \cdot h_0$ , где  $N_1$  — число этажей. Тогда  $A = gmN_1 \cdot h_0$ .

$$\text{Отсюда } N_1 = \frac{A}{gmh_0}; N_1 = \frac{1,0 \cdot 10^5 \text{ Дж}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5,0 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot 4,0 \text{ м}} = 5; N = N_1 + 1 = 6.$$

Так как движение плиты равномерное, то равнодействующая сил, приложенных к ней,  $F_p = 0$  и работа  $A_p = 0$ .

Ответ: плита поднята на 6-й этаж; работа равнодействующей сил  $A_p = 0$ .

## Упражнение 17

1. Совершает ли работу сила тяжести, действующая на спортсмена, если он:

а) стоит на трамплине; б) падает в воду; в) всплывает?

2. Выразите в джоулях работу:  $A_1 = 2$  МДж;  $A_2 = 10$  кДж;  $A_3 = 300$  мДж;  $A_4 = 12$  мкДж.

3. Какую работу совершает сила упругости веревки  $F = 50$  Н, разгоняющая санки на пути  $s = 30$  м?

4. Какую работу совершает сила тяжести, действующая на камень массой  $m = 2,0$  кг, при:

а) падении его с высоты  $h = 5,0$  м; б) подъеме на высоту  $h = 5,0$  м?

В этой и последующих задачах считайте  $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

5. Трактор, вытаскивая завязший автомобиль, протянул его на пути  $s = 10$  м. Сила натяжения буксировочного троса совершила работу  $A = 140$  кДж. Определите значение этой силы.

6. Какой путь проезжает тележка, если действующая на нее постоянная сила  $F = 100$  Н совершает работу  $A = 2,0$  кДж?

7. При подъеме ведра с водой массой  $m = 10$  кг на высоту  $h = 1,0$  м силой упругости троса была совершена работа  $A = 120$  Дж. Равномерно ли поднимали ведро?

8. Хоккеист бьет клюшкой по неподвижной шайбе. Какие силы действовали на шайбу в момент удара и при скольжении шайбы? Чему равна их работа?

9. При разгоне автомобиля равнодействующая сил, приложенных к нему, совершила работу  $A = 100$  кДж. Какой должна быть тормозящая сила, чтобы остановить этот автомобиль на пути  $s = 50$  м при выключенном двигателе? Какие силы не совершали работу?

 10. При вертикальном подъеме ракеты массой  $m = 80$  кг на некоторую высоту силой тяги  $F = 1,2$  кН была совершена работа  $A = 120$  кДж. На какую высоту поднялась ракета? Какую работу совершили за время подъема сила тяжести и равнодействующая сил, приложенных к ракете? Изменением массы ракеты пренебречь.

 11. На графике (рис. 220) представлены зависимости сил, перемещающих бетонную плиту, от пути. Какая из сил совершила бóльшую работу? Во сколько раз?

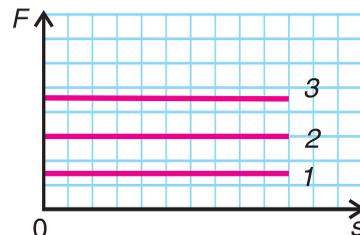


Рис. 220



## § 37.

### Полезная и совершенная работа. Коэффициент полезного действия



Рис. 221

Оценивая работу машины, механизма и др., говорят об их коэффициенте полезного действия (КПД). Но что такое КПД? Что означают слова «полезного действия»?

Рассмотрим ситуацию: идет уборка картофеля на поле. Фермер поднимает картофель в ведре в кузов автомашины (рис. 221), выгружает, а ведро опускает на землю. Механическую работу совершает мускульная сила фермера, поднявшего ведро массой, например,  $m_{\text{в}} = 2,0$  кг и картофель массой  $m = 10,0$  кг на высоту  $h = 1,5$  м. Какая работа здесь является полезной?

Цель фермера — погрузить в кузов картофель. Исходя из этого, полезной работой является работа по подъему картофеля:  $A_{\text{пол}} = gmh$ . А вот работа по подъему самого ведра  $A = gm_{\text{в}}h$  не является полезной. Вся же совершенная (полная работа) равна:

$$A_{\text{сов}} = A_{\text{пол}} + A = g(m + m_{\text{в}})h.$$

Какую долю составляет полезная работа от совершенной?

$$\frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}} = \frac{gmh}{g(m + m_{\text{в}})h} = \frac{m}{m + m_{\text{в}}}.$$

Обозначим отношение  $\frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}}$  буквой  $\eta$  (эта) и назовем *коэффициентом полезного действия (КПД)*. Тогда  $\eta = \frac{10 \text{ кг}}{12 \text{ кг}} = 0,83$ .

КПД, как правило, выражают в **процентах**:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}} \cdot 100 \%.$$



Рис. 222

Таким образом, КПД (эффективность работы) в данном случае равен 83 %.

Рассмотрим еще один пример. Дети разгоняют санки, действуя силой  $F$  в направлении их движения (рис. 222). Совершенная (полная) работа здесь  $A_{\text{сов}} = F \cdot s$ . Цель детей — увеличить скорость движения санок. Но на санки действует еще сила трения скольжения  $F_{\text{тр}}$ . Она тормозит движение санок. Значит, работа детей по преодолению силы трения не является полезной:

$$A = F_{\text{тр}} \cdot s.$$

Полезной же работой была

$$A_{\text{пол}} = A_{\text{сов}} - A = (F - F_{\text{тр}})s.$$

Тогда доля полезной работы (КПД)

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}} = \frac{F - F_{\text{тр}}}{F} \cdot 100 \%.$$

**Физическая величина, равная отношению полезной работы к совершенной (полной), называется коэффициентом полезного действия.**

А могут ли механизм, машина, человек работать так, чтобы КПД = 100 %, т. е. чтобы вся совершенная работа была полезной?

Ученые неоднократно пытались создать такую машину (вечный двигатель), но все попытки оказались безуспешными. *(Самостоятельно познакомьтесь в Интернете или справочной литературе с информацией о вечном двигателе (рис. 223)).* В работе любой машины, механизма всегда есть бесполезная работа, идущая на преодоление трения, сопротивления. А значит, КПД всегда меньше 100 %. А вот сделать бесполезную работу минимальной означает повысить КПД.

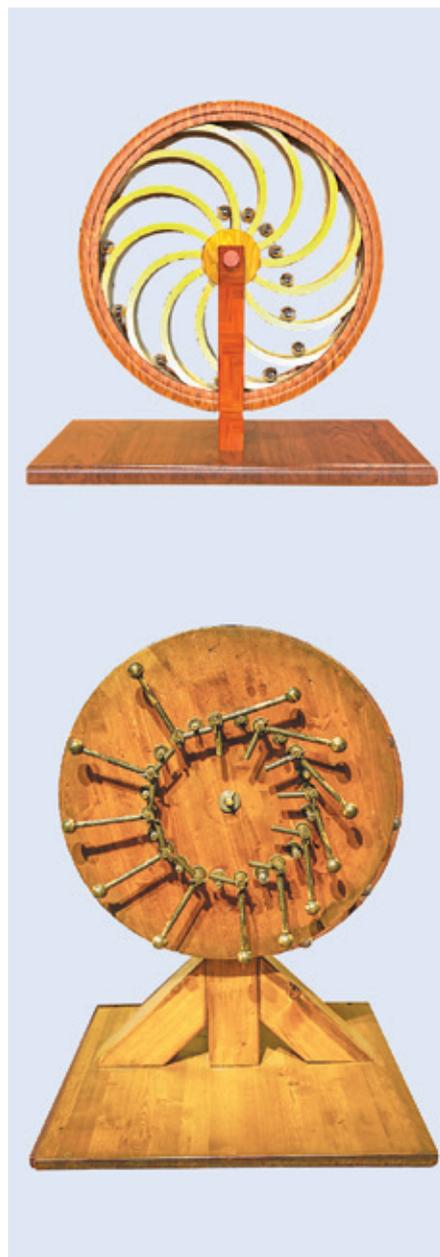


Рис. 223

### ■ Главные выводы

1. Совершенная (т. е. полная) механическая работа всегда больше полезной.
2. КПД показывает, какую долю составляет полезная работа от всей совершенной.
3. Чем больше полезная работа, тем выше КПД.
4. КПД любого механизма всегда меньше 100 %.

## ? Контрольные вопросы

1. Из чего складывается совершенная любым механизмом, машиной механическая работа?
2. Почему работа по преодолению силы трения скольжения не является полезной?
3. Как определить КПД?
4. Рассмотрев приведенные в тексте параграфа примеры, дайте совет, как повысить КПД.
5. Может ли КПД машины, механизма быть равным 100 %?



## Пример решения задачи

При подъеме картофеля из хранилища глубиной  $h = 3,6$  м подъемным устройством с КПД  $\eta = 90\%$  совершена работа  $A_{\text{сов}} = 40$  кДж. Сколько мешков картофеля массой  $m_0 = 40$  кг каждый было поднято из хранилища? Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$h = 3,6 \text{ м}$$

$$\eta = 90\% = 0,90$$

$$A_{\text{сов}} = 40 \text{ кДж} = 4,0 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

$$m_0 = 40 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$N = ?$

Решение

Зная совершенную работу и КПД, можно найти полезную работу по подъему мешков картофеля:

$$A_{\text{пол}} = \eta \cdot A_{\text{сов}}.$$

Полезная работа — это работа подъемного устройства по преодолению силы тяжести мешков картофеля:

$$A_{\text{пол}} = gmh.$$

Масса  $m = m_0 \cdot N$ , где  $N$  — число мешков картофеля. Тогда  $gm_0Nh = \eta \cdot A_{\text{сов}}$ , откуда

$$N = \frac{\eta \cdot A_{\text{сов}}}{gm_0h} = \frac{0,90 \cdot 4,0 \cdot 10^4 \text{ Дж}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 40 \text{ кг} \cdot 3,6 \text{ м}} = 25.$$

Ответ:  $N = 25$  мешков.

### Упражнение 18

1. При работе насоса с КПД  $\eta = 80\%$  была совершена работа  $A_{\text{сов}} = 4,2$  кДж. Определите значение полезной работы.

2. Определите значения полезной и полной работы, совершенной за некоторое время действия подъемного крана с КПД  $\eta = 70\%$ , если значение бесполезной работы за это время составляет  $A = 1,5$  МДж.

3. Каков КПД устройства, в котором значение полезной работы в 8 раз превышает значение бесполезной работы?

 4. Будут ли одинаковыми значения КПД подъемника лифта при подъеме одного или нескольких человек? Почему?

5. Каким может быть максимальное значение КПД подъемника лифта, если в нем поднимается четыре человека общей массой  $m = 300$  кг? Массу пустой кабины принять равной  $m_1 = 60$  кг.

6. При разгоне спортивных саней на пути  $s = 10$  м спортсменами была совершена работа  $A_{\text{сов}} = 2,0$  кДж. Считая значение препятствующей разгону силы трения постоянным и равным  $F_{\text{тр}} = 20$  Н, найдите значение КПД в рассмотренном случае.

 7. На рисунке 224 приведены графики зависимости силы сопротивления от высоты при подъеме грузов одинаковой массы двумя различными подъемниками. Какую информацию можно получить, оценивая закрашенную и заштрихованную площади? Можно ли по этим площадям сравнить коэффициенты полезного действия данных подъемников? Ответ аргументируйте.

 8. На рисунке 225 даны графики зависимости силы трения от пути при подъеме грузов одинаковой массы на одну и ту же высоту двумя подъемниками. Одинаковой ли была эффективность работы подъемников? Ответ аргументируйте.

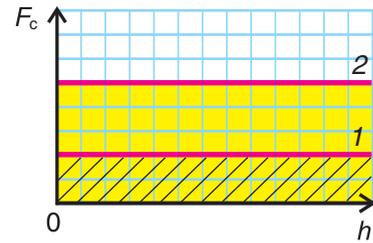


Рис. 224

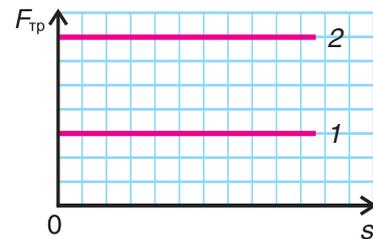


Рис. 225



## § 38.

### Мощность. Единицы мощности



Рис. 226



Рис. 227



Рис. 228

Приобретая автомобиль (рис. 226), микроволновую печь (рис. 227), газонокосилку и др., человек интересуется их мощностью. Именно мощность является паспортной характеристикой машин и механизмов. Что же такое мощность? Почему так важно ее знать?

Рассмотрим пример. Человек лопатой копает яму для погреба в течение нескольких дней. Таковую же яму экскаватор (рис. 228) выкопает за несколько минут. Работа выполняется одинаковая. Одинаковая масса грунта поднимается на одну и ту же высоту. Но быстрота совершения работы человеком и экскаватором разная. За единицу времени экскаватор выполняет во много раз большую работу, чем человек. Для описания быстроты совершения работы вводится мощность.

**Физическая величина, равная отношению работы ко времени, за которое эта работа совершена, называется мощностью. Обозначается мощность буквой  $P$ .**

$$\text{Мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}}, \quad \text{или} \quad P = \frac{A}{t}.$$

За основную единицу мощности в СИ принимается **мощность, при которой действующая на тело сила за время  $t = 1$  с совершает работу  $A = 1$  Дж.** Эта единица мощности называется **ватт (Вт)** в честь английского изобретателя Джеймса Уатта (см. форзац 1). Для измерения больших мощностей используют кратные единицы — гектоватт (гВт), киловатт (кВт), мегаватт (МВт):

$$1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^2 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

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

Для малых мощностей употребляются дольные единицы — милливатт (мВт), микроватт (мкВт):

$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$1 \text{ мкВт} = 0,000001 \text{ Вт} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}.$$

В быту часто необдуманно единицу мощности киловатт принимают за единицу работы. Но работа  $A = P \cdot t$ , из чего следует, что единицей работы может быть только киловатт-час (кВт · ч), но не киловатт (кВт). Выразим мощность через другие величины — силу и скорость. Мощность  $P = \frac{A}{t}$ , но работа  $A = F \cdot s$ , путь  $s = vt$ . Тогда

$$P = Fv.$$

Мощность прямо пропорциональна силе, совершающей работу, и скорости движения. Тогда при постоянной мощности чем меньше скорость, тем больше сила. Вот почему водитель, трогаясь с места или поднимаясь в гору (рис. 229), когда требуется большая сила, едет на малой скорости. Тем самым он увеличивает силу тяги двигателя автомобиля.

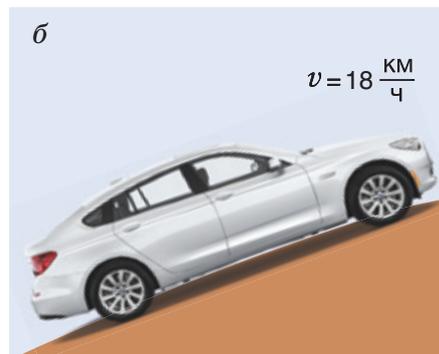
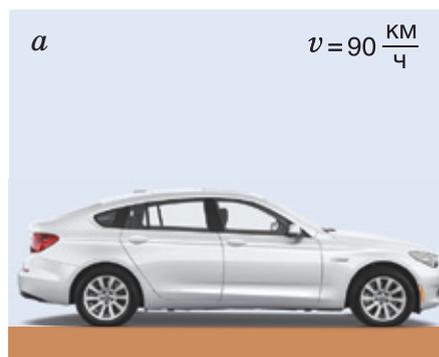


Рис. 229

### ■ Главные выводы

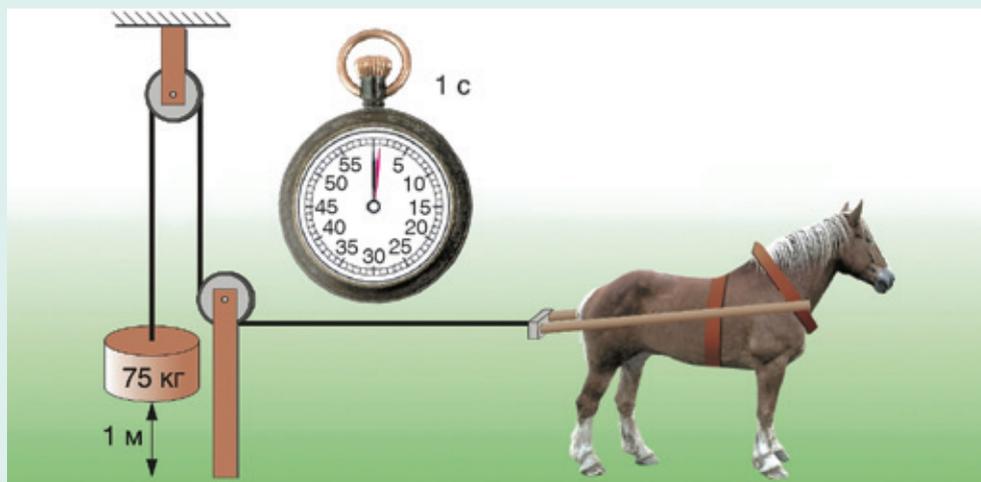
1. Мощность — физическая величина, характеризующая быстроту совершения работы.
2. Основной единицей мощности в СИ является 1 ватт.
3. Одинаковую мощность можно получить либо при большой скорости и небольшой силе, либо при малой скорости и большой силе.

### ? Контрольные вопросы

1. Что характеризует мощность?
2. В каких единицах в СИ измеряется мощность?
3. Как понимать выражение: «Мощность одной установки в 2 раза больше мощности другой»?
4. Верно ли утверждение: «Значение мощности прямо пропорционально работе и обратно пропорционально времени»? Почему?
5. Может ли механизм малой мощности совершить большую работу?

### Для любознательных

В автомобилестроении по традиции используют старинную единицу мощности — лошадиную силу (л. с.). С помощью рисунка сформулируйте самостоятельно определение мощности в 1 лошадиную силу.



Запишем связь 1 л. с. и ватта:  
 $1 \text{ л. с.} = 736 \text{ Вт.}$



В этих внесистемных единицах мощность первого белорусского трактора МТЗ-2 (1953 г.) была равна 37 л. с. Трактор «Беларус МТЗ-4522» имеет двигатель мощностью 450 л. с. *Переведите эти значения мощности в единицы СИ самостоятельно и сравните их.*



### Пример решения задачи

На уроке физкультуры мальчик массой  $m = 40 \text{ кг}$  поднялся по канату на высоту  $h = 5,0 \text{ м}$  за время  $t = 10 \text{ с}$ . Определите среднюю мощность, развиваемую мальчиком при подъеме. Коэффициент  $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:	Решение
$m = 40 \text{ кг}$	При подъеме по канату работа мускульной силы рук идет на преодоление силы тяжести.
$h = 5,0 \text{ м}$	
$t = 10 \text{ с}$	$A = gmh.$
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$	Тогда $P = \frac{A}{t} = \frac{gmh}{t},$
$P = ?$	$P = \frac{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 40 \text{ кг} \cdot 5,0 \text{ м}}{10 \text{ с}} = 200 \text{ Вт} = 0,20 \text{ кВт}.$
Ответ: $P = 0,20 \text{ кВт}.$	

### Упражнение 19

1. Двигателем электровоза «Штадлер», курсирующего по белорусской железной дороге, совершена работа  $A = 150 \text{ МДж}$  за время  $t = 1 \text{ мин}$ . Определите мощность двигателя.

2. Какую работу производит трактор «Беларус МТЗ-80» с двигателем мощностью  $P = 59 \text{ кВт}$  за время  $t = 1,0 \text{ ч}$ ? Ответ запишите в Дж и кВт · ч.

3. За какое время может забраться по канату на высоту  $h = 4,0 \text{ м}$  спортсмен массой  $m = 80 \text{ кг}$ , если максимальная развиваемая им мощность равна  $P = 0,80 \text{ кВт}$ ?

4. Какую массу кирпичей можно поднять равномерно за время  $t = 20 \text{ с}$  на высоту  $h = 16 \text{ м}$ , используя подъемник мощностью  $P = 2,0 \text{ кВт}$ ? КПД двигателя подъемника  $\eta = 80 \%$ .

5. Какова сила сопротивления при движении автомобиля с постоянной скоростью  $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ? Мощность двигателя автомобиля  $P = 60 \text{ кВт}$ .

6. Грузенный автомобиль массой  $m = 4,0 \text{ т}$  движется с постоянной скоростью  $v = 54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Сила сопротивления движению автомобиля составляет  $0,10$  его веса. Определите мощность, развиваемую двигателем автомобиля.

 7. Почему не удастся пахать, используя легковой автомобиль, ведь его двигатель гораздо мощнее двигателя мини-трактора, легко выполняющего эту работу?

 8. Оцените мощность, которую вы развиваете при подъеме пешком в свою квартиру. Необходимые для этого данные получите экспериментально.



## § 39.

### Кинетическая энергия



Рис. 230



Рис. 231



Рис. 232

Энергия — одно из наиболее важных и сложных понятий. Причем не только в физике, но и в других науках. А что же такое кинетическая энергия?

Рассмотрим два примера. Шайба, попадая в сетку ворот (рис. 230), прогибает ее. Молот для забивания свай (рис. 231), падая на сваю, загоняет ее в землю на некоторую глубину. Чтобы сильнее прогнуть сетку или глубже забить сваю, шайба и молот должны иметь большую скорость. И шайба, и молот совершили работу. При этом скорость их движения изменилась (уменьшилась до нуля). Совершенные ими работы были разными, даже если предположить, что скорости движения были одинаковыми. Но массы молота и шайбы не равны.

Если тело способно совершить работу, то оно обладает энергией. В физике **энергию движущегося тела называют кинетической** (от греч. *kinetikos* — приводящий в движение). Кинетическая энергия обозначается буквой  $K$  (или  $E_k$ ) и измеряется в СИ в тех же единицах, что и работа, т. е. в джоулях.

Большая кинетическая энергия движущихся тел — камня, автомобиля, железнодорожного состава (рис. 232), метеорита и др. — означает, во-первых, что при разгоне их до данной скорости разгоняющей силой была совершена большая работа. Во-вторых, что при их остановке тормозящей силой будет совершена такая же большая работа.

Из примеров следует, что кинетическая энергия зависит от массы тела и скорости его движения. Какой является эта зависимость?

Опыты показывают, что **кинетическая энергия прямо пропорциональна массе тела и квадрату скорости его движения:**

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

Увеличение скорости движения тела, например в 4 раза, приводит к возрастанию кинетической энергии в 16 раз. Об этом должны всегда помнить водители и пешеходы.

**Обратите внимание!**

### □ Главные выводы

1. Кинетическая энергия выражает способность движущегося тела совершить работу.
2. Кинетическая энергия, как и работа, измеряется в джоулях.
3. Кинетическая энергия тела зависит от его массы и квадрата скорости.
4. Изменить (увеличить или уменьшить) кинетическую энергию тела можно только путем совершения работы (положительной или отрицательной).

### ? Контрольные вопросы

1. Всякое ли тело обладает кинетической энергией?
2. Кинетическая энергия тела  $K = 2$  Дж. Что это означает?
3. Почему опасна езда с большой скоростью? К чему приводит увеличение скорости автомобиля в 2 раза?

### Пример решения задачи

Груженный автомобиль массой  $m = 4,0$  т начал движение из состояния покоя и развил скорость  $v = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  на пути  $s = 50$  м. Определите силу тяги двигателя автомобиля. Сопротивлением движению пренебречь.

Дано:

$$m = 4,0 \text{ т} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$v = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$s = 50 \text{ м}$$

$$F_{\text{тяги}} \text{ — ?}$$

Решение

Чтобы увеличить кинетическую энергию автомобиля, сила тяги должна была совершить работу:

$$A = K; A = \frac{mv^2}{2}.$$

Но работа  $A = F_{\text{тяги}} \cdot s$ . Отсюда  $F_{\text{тяги}} = \frac{A}{s} = \frac{mv^2}{2s}$ ;

$$F_{\text{тяги}} = \frac{4,0 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 50 \text{ м}} = 4 \text{ кН}.$$

Ответ:  $F_{\text{тяги}} = 4$  кН.

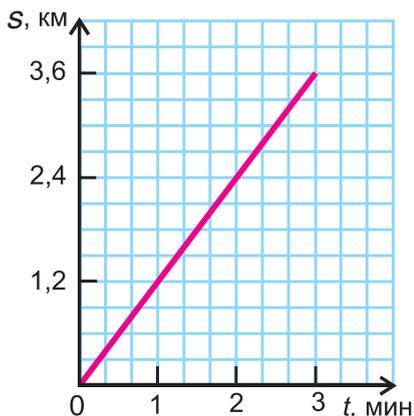


Рис. 233

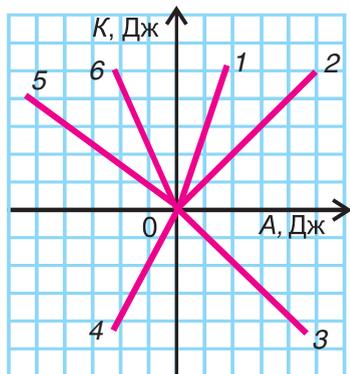


Рис. 234

### Упражнение 20

1. Какой кинетической энергией обладает голубь массой  $m = 300$  г, летящий со скоростью  $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ?

2. На рисунке 233 представлен график движения автомобиля. Используя этот график, определите кинетическую энергию движущегося автомобиля, если его масса  $m = 1,0$  т.

3. Во сколько раз отличаются кинетические энергии пули массой  $m_1 = 10$  г, летящей со скоростью  $v_1 = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , и молотка массой  $m_2 = 0,60$  кг, имеющего в момент удара о гвоздь скорость  $v_2 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?

4. Какую кинетическую энергию приобретают санки, разгоняемые из состояния покоя силой  $F = 30$  Н на пути  $s = 5,0$  м? Нужно ли для решения знать массу санок? Почему?

5. Определите массу пули, обладающей кинетической энергией  $K = 800$  Дж при скорости движения  $v = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

6. При разгоне автомобиля массой  $m = 2,0$  т из состояния покоя до скорости  $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  сила тяги совершила работу  $A = 480$  кДж. Какую работу совершила за это время сила трения?

 7. Какой из представленных на рисунке 234 графиков правильно показывает зависимость кинетической энергии  $K$  тела от работы  $A$  по разгону тела из состояния покоя?

 8. Почему кинетическая энергия разгоняемого транспортного средства не может достичь бесконечно большого значения? Может ли значение кинетической энергии быть отрицательным?

 9. Картонный ящик массой  $m = 0,40$  кг, падая с высоты  $h = 10$  м, достиг скорости  $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Определите среднее значение силы сопротивления воздуха. Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .



## § 40.

### Потенциальная энергия

При разгоне любого тела (санок, автомобиля и др.) у него возникает способность совершить механическую работу — у движущегося тела появляется кинетическая энергия. А если тело неподвижно? Обладает ли оно способностью совершить работу?

Проведем два опыта. В первом поднимем и укрепим на нити над ящиком с песком гирю (рис. 235, а). Во втором между упором и шариком поместим предварительно сжатую и связанную нитью пружину (рис. 235, б). Оба тела (гиря и пружина) неподвижны ( $v = 0$ ) и не обладают кинетической энергией. Но и у гири, и у пружины есть возможность совершить работу. Для этого достаточно в обоих случаях пережечь нить. В физике говорят, что тела (поднятая гирия, взаимодействующая с Землей, и сжатая пружина) **обладают потенциальной энергией** (от лат. *potentia* — скрытая способность). Потенциальную энергию в СИ измеряют в тех же единицах, что и работу, — в джоулях.

Важно понимать, что потенциальная энергия не появляется сама по себе. В этих опытах гирия была поднята над столом, пружина была сжата какой-то силой. Значит, чтобы тело запасло потенциальную энергию, необходимо совершить работу. Чем сильнее будет сжата пружина, чем выше будет поднято тело, тем больше у них будет запас потенциальной энергии. Тела, представленные на рисунке 236, уже обладают потенциальной энергией. У трамплина она вызвана прогибом (деформацией) доски, у мышеловки — закручиванием пружины, у лука — изменением расположения древка и тетивы. Из этих и других примеров следует, что **потенциальная энергия — это энергия, обусловленная взаимным расположением взаимодействующих**

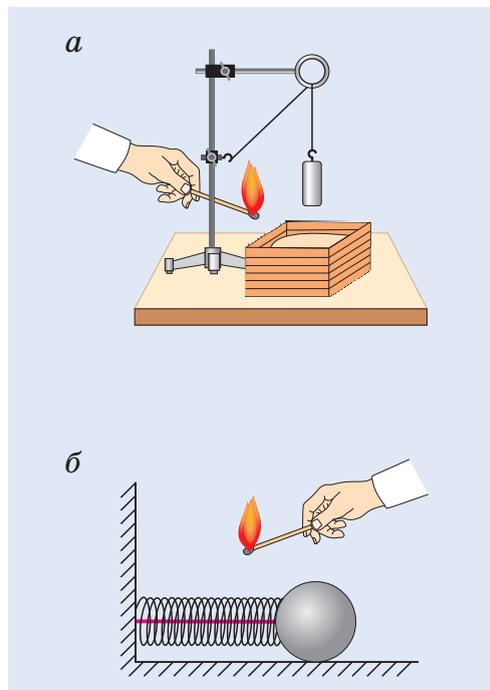


Рис. 235



Рис. 236



Рис. 237

тел или частей тела (гири и Земли, стрелы и тетивы, звеньев пружины). Обозначается потенциальная энергия буквой  $\Pi$  (или  $E_{\text{п}}$ ).

Именно благодаря потенциальной энергии сжатой (закрученной) пружины работают механические часы, реле времени микроволновых печей, движутся некоторые детские игрушки. Потенциальная энергия поднятой с помощью плотины воды (рис. 237) заставляет работать гидроэлектростанции.

### ■ Главные выводы

1. Неподвижные взаимодействующие тела (система тел) могут обладать способностью совершать механическую работу, а значит, потенциальной энергией.
2. Значение потенциальной энергии зависит от взаимного расположения взаимодействующих тел (частей тела).
3. Потенциальная энергия изменяется только при совершении работы.

### ? Контрольные вопросы

1. Что характеризует потенциальная энергия?
2. В каких единицах в СИ измеряется потенциальная энергия? Почему?
3. Как изменить потенциальную энергию тела (системы тел)?
4. Как понимать фразу: «Потенциальная энергия сжатой пружины  $\Pi = 2$  Дж»?
5. Какими видами энергии обладает мяч, который:
  - а) катится по горизонтальной поверхности земли;
  - б) застрял в ветвях дерева;
  - в) пролетает над волейбольной сеткой?



## § 41.

### Расчет потенциальной энергии

Кинетическая энергия тела, зависящая от его массы и скорости, выражается формулой  $K = \frac{mv^2}{2}$ . Данная формула справедлива и для планеты Земля, мчащейся со скоростью  $v = 30 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  по орбите вокруг Солнца, и для невидимого нашему глазу атома. Существует ли единая формула для расчета потенциальной энергии?

Рассмотрим отдельно два случая: **потенциальную энергию притяжения поднятого над поверхностью земли тела** и **потенциальную энергию деформированного тела**.

В первом случае формулу для расчета потенциальной энергии легко вывести. Если тело массой  $m$  поднято относительно поверхности земли на высоту  $h$  (рис. 238), то при его падении сила тяжести  $F_T = gm$  может совершить работу:

$$A_T = F_T h = gmh.$$

Это и есть потенциальная энергия поднятого тела:

$$\Pi = gmh.$$

Значение потенциальной энергии **относительно**. Так, относительно пола потенциальная энергия светильника (рис. 239) массой  $m = 1,0$  кг, центр тяжести которого расположен на высоте  $h_1$  от пола, равна:

$$\Pi_1 = gmh_1 = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \text{ кг} \cdot 2,0 \text{ м} \approx 20 \text{ Дж}.$$

Относительно потолка ( $h_3 = -0,50$  м) она равна:

$$\Pi_2 = gmh_3 = -9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \text{ кг} \cdot 0,50 \text{ м} \approx -5,0 \text{ Дж}.$$

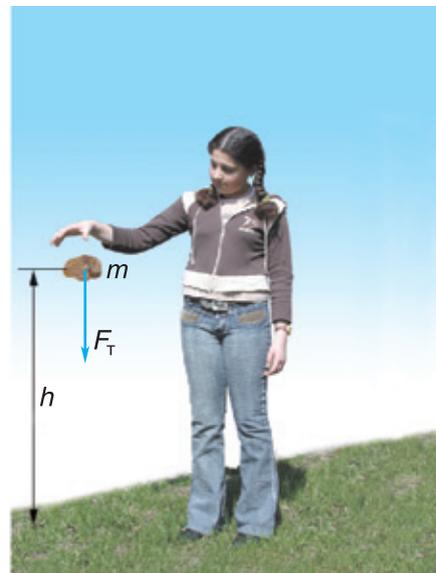


Рис. 238

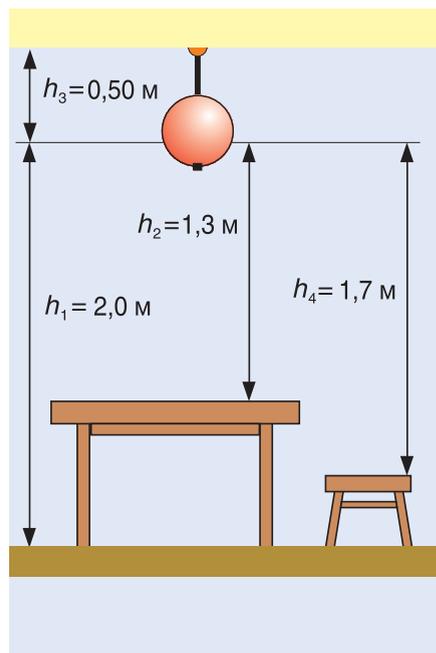
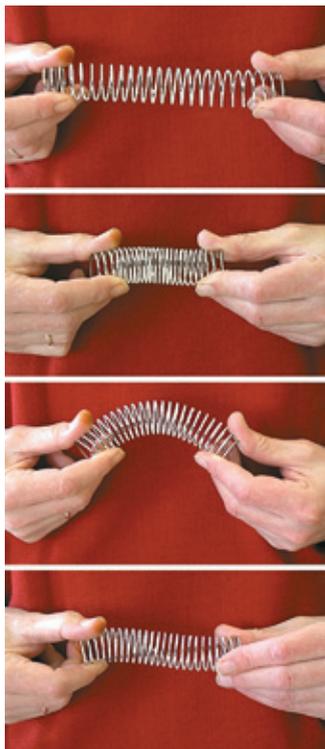


Рис. 239



Поэтому, приводя значение потенциальной энергии, необходимо указывать уровень, относительно которого она задана, — **нулевой уровень потенциальной энергии** (это может быть, к примеру, поверхность пола, потолка, стола и т. д.).

Гораздо сложнее дело обстоит с расчетом потенциальной энергии деформированного тела. Мы можем растянуть или сжать пружину, изогнуть или закрутить ее (рис. 240). Потенциальная энергия у пружины будет в каждом из этих случаев. И чем больше упругая деформация, тем больше потенциальная энергия пружины. В данном примере расчет потенциальной энергии придется вести по различным формулам. Более детально с этим вы познакомитесь в 9-м классе.

Рис. 240

### ■ Главные выводы

1. Потенциальная энергия притяжения тела к Земле зависит от массы тела и высоты его подъема над нулевым уровнем энергии.
2. Значение потенциальной энергии тела зависит от выбора нулевого уровня энергии.
3. Потенциальная энергия деформированного тела зависит от величины деформации.

### ? Контрольные вопросы

1. От чего зависит значение потенциальной энергии тела, находящегося в поле тяготения Земли, и деформированного тела?
2. Что такое нулевой уровень потенциальной энергии?
3. Может ли потенциальная энергия тела быть одновременно равной нулю и отличной от нуля?
4. Равны ли потенциальные энергии поднятого на одинаковую высоту тела на Земле и на Луне?
5. Чему равна потенциальная энергия изображенного на рисунке 239 светильника относительно сиденья табурета? Относительно поверхности стола?



### Пример решения задачи

Парафиновый однородный кубик с длиной ребра  $a = 10$  см лежит на столе на высоте  $h_1 = 0,80$  м от пола. Определите потенциальную энергию кубика относительно поверхности: а) пола; б) стола. Какую работу нужно совершить, чтобы поднять кубик с пола на стол? Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$a = 10 \text{ см} = 0,10 \text{ м}$$

$$h_1 = 0,80 \text{ м}$$

$$\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$П_1 - ?$$

$$П_2 - ?$$

$$A - ?$$

Решение

Потенциальная энергия кубика относительно поверхности пола (рис. 241) определяется положением его центра (точки  $O$ ):

$$П_1 = gm(h_1 + 0,5a).$$

Масса кубика  $m = \rho V$ , объем  $V = a^3$ , тогда:

$$П_1 = gra^3(h_1 + 0,5a);$$

$$П_1 = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,0010 \text{ м}^3 \cdot 0,85 \text{ м} = 7,7 \text{ Дж}.$$

Потенциальная энергия кубика относительно поверхности стола:

$$П_2 = gra^3h_2;$$

$$h_2 = \frac{a}{2};$$

$$П_2 = \frac{gra^3a}{2};$$

$$П_2 = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,0010 \text{ м}^3 \cdot 0,050 \text{ м} = 0,45 \text{ Дж}.$$

Работа по подъему кубика на высоту  $h_1$  равна изменению его потенциальной энергии.

Получаем:

$$A = П_1 - П_2 = 7,7 \text{ Дж} - 0,45 \text{ Дж} = 7,25 \text{ Дж} \approx 7,3 \text{ Дж}.$$

Ответ:  $П_1 = 7,7 \text{ Дж}$ ;  $П_2 = 0,45 \text{ Дж}$ ;  $A = 7,3 \text{ Дж}$ .

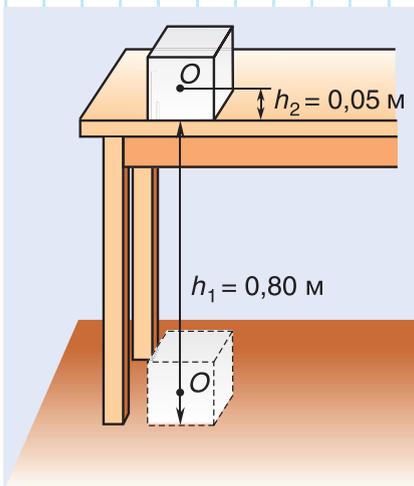


Рис. 241

### Упражнение 21

1. Растянутая пружина обладает потенциальной энергией  $\Pi = 2$  Дж. Что это означает?

2. С какой глубины был поднят кусок сильвинита (калийсодержащей породы, главного минерального богатства Беларуси) объемом  $V = 5$  дм<sup>3</sup>, если его потенциальная энергия возросла на  $\Delta\Pi = 41$  кДж? Плотность сильвинита примите равной удвоенной плотности воды.

3. Капля дождя массой  $m = 60$  мг падает с постоянной скоростью  $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Найдите ее кинетическую и потенциальную энергии на высоте  $h = 200$  м от поверхности земли. Коэффициент  $g$  в этой и последующих задачах примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

4. Мяч массой  $m = 0,20$  кг, брошенный вертикально вверх, поднялся на высоту  $h = 20$  м. Определите кинетическую и потенциальную энергии мяча в верхней точке траектории.

5. Орел обладает потенциальной энергией  $\Pi = 4$  кДж на высоте  $h = 0,1$  км над поверхностью земли. Чему равна масса орла?

6. Определите изменение кинетической и потенциальной энергий парашютиста массой  $m = 70$  кг, спускающегося с постоянной скоростью  $v = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  в течение времени  $t = 5,0$  с.

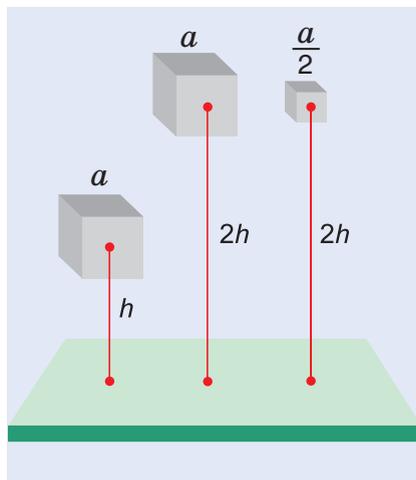


Рис. 242

7. Какой потенциальной энергией обладает  $1,0$  м<sup>3</sup> воды горной реки на высоте  $h = 320$  м? Сравните эту энергию с кинетической энергией автомобиля массой  $m = 10$  т, имеющего скорость  $v = 54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ .

8. Прямоугольный погреб глубиной  $h = 2,2$  м доверху заполнен картофелем, масса которого  $m = 6,0$  т. Какую наименьшую работу нужно совершить, чтобы выгрузить картофель из погреба?

9. Сравните потенциальные энергии трех металлических кубиков (рис. 242), изготовленных из одного и того же материала.

### → Домашнее задание

Составьте план для экспериментального измерения потенциальной энергии учебника «Физика, 7», лежащего на вашем письменном столе, относительно поверхности пола.



## § 42.

### Закон сохранения механической энергии

Кинетическая и потенциальная энергии — это два вида механической энергии. Связаны ли они друг с другом? И если да, то в чем выражается эта связь?

Проследим за движением брошенного вверх металлического шарика (рис. 243). В нижней точке траектории сила действия руки на шарик сообщает ему кинетическую энергию. Шарик движется вверх. Скорость его движения, а значит, и кинетическая энергия уменьшаются. Но исчезает ли кинетическая энергия бесследно? Поднимаясь выше, шарик приобретает все большую потенциальную энергию (вспомните:  $\Pi = gmh$ ). В верхней точке скорость и кинетическая энергия шарика равны нулю, а потенциальная — максимальна. Значит, в рассмотренном примере происходит превращение энергии из одного вида (кинетической) в другой (потенциальную). При возвращении шарика обратно снова будет идти превращение энергии: с уменьшением высоты (и потенциальной энергии) увеличивается скорость движения шарика (и кинетическая энергия).

Если сопротивление воздуха мало (им можно пренебречь), брошенный вверх шарик возвращается назад практически с такой же, как в момент бросания, скоростью и кинетической энергией.

А каким будет значение механической энергии шарика в промежуточных точках? Например, на высоте  $h_1$  (рис. 243). При подъеме шарика на высоту  $h_1$  его кинетическая энергия уменьшилась, но при этом появилась потенциальная энергия. А чему равна их сумма, т. е. полная механическая энергия? Данный и подобные опыты и расчеты показывают, что если сил сопротивления нет, то **полная механическая энергия тела (системы тел), равная сумме кинетической и потенциаль-**

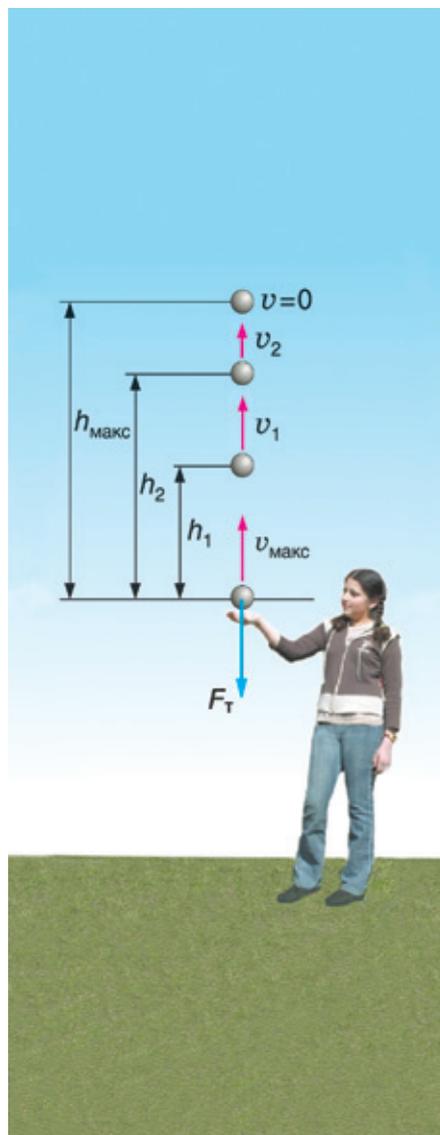


Рис. 243



Рис. 244

ной энергий ( $E = K + \Pi$ ), сохраняется. Данное утверждение о постоянстве механической энергии в физике называют **законом сохранения механической энергии**.

Если силами трения или сопротивления движению нельзя пренебречь, этот закон не выполняется. Заменяем в опыте металлический шарик на пенопластовый брусок такой же массы (рис. 244). Мы увидим, что даже при большей, чем у металлического шарика, начальной скорости он не поднимется на такую же высоту и вернется назад с заметно меньшей скоростью. Убывает кинетическая энергия движущейся по горизонтальной поверхности льда шайбы, но потенциальная энергия взамен не появляется. За счет кинетической энергии шайбы совершается работа против сил трения.



Рис. 245

В заключение заметим, что явление превращения энергии из одного вида в другой человек научился использовать в практических целях. Энергия падающей воды приводит в действие водяные мельницы и гидроэлектростанции. В Республике Беларусь успешно реализуется государственная программа использования энергии рек. Важная роль в ней отводится таким рекам, как Неман и Западная Двина. На Немане работает Гродненская ГЭС мощностью 17 МВт. Установленная мощность Витебской ГЭС на Западной Двине — 40 МВт.



Рис. 246

Кинетическую энергию ветра человек начал использовать с давних времен. Вначале для передвижения с помощью паруса (рис. 245), затем в ветряных мельницах. В последние годы в нашей стране начато сооружение ветроэлектростанций (рис. 246). Их преимущество заключается в том, что они почти не оказывают вредного воздействия на окружающую среду.

Во многих странах успешно используют энергию приливов и отливов вод морей и океанов. Там созданы приливные электростанции.

## □ Главные выводы

1. Кинетическая и потенциальная энергии взаимопревращаемы.
2. При отсутствии сил трения и сопротивления движению полная механическая энергия тела (системы тел) сохраняется.
3. Закон сохранения механической энергии не выполняется, если силами трения (сопротивления) нельзя пренебречь.

## ? Контрольные вопросы

1. Правильнее говорить о потенциальной энергии поднятого тела или о потенциальной энергии системы «тело — Земля»?
2. В чем суть закона сохранения механической энергии?
3. Почему в опыте, отраженном на рисунке 243, мы использовали металлический шарик? Какой плотности металл здесь предпочтительнее? Почему?

## ✎ Пример решения задачи

Камень бросили вертикально вверх со скоростью  $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . На какой высоте от точки бросания кинетическая энергия камня будет в 4 раза меньше его потенциальной энергии? Сопротивлением движению камня пренебречь. Коэффициент  $g$  примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$K_2 = \frac{1}{4} \Pi_2 = 0,25 \Pi_2$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$h_2 = ?$$

Решение

За нулевой уровень потенциальной энергии примем уровень  $O - O$ , проходящий через точку бросания камня (рис. 247). Значит,  $\Pi_1 = 0$ .

Полная механическая энергия камня в точке бросания 1:

$$E_1 = K_1 + \Pi_1 = K_1.$$

Полная механическая энергия камня в точке 2:

$$E_2 = \Pi_2 + K_2 = E_1, \text{ или } K_1 = \Pi_2 + K_2; K_1 = \frac{mv^2}{2}.$$

По условию  $K_2 = 0,25\Pi_2$ . Значит,

$$\frac{mv^2}{2} = 1,25\Pi_2 = 1,25gmh_2; v^2 = 2,5gh_2;$$

$$h_2 = \frac{v^2}{2,5g}; h_2 = \frac{400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2,5 \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 16 \text{ м.}$$

Ответ:  $h_2 = 16 \text{ м.}$

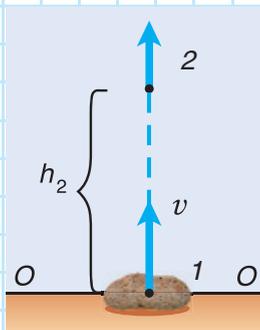


Рис. 247

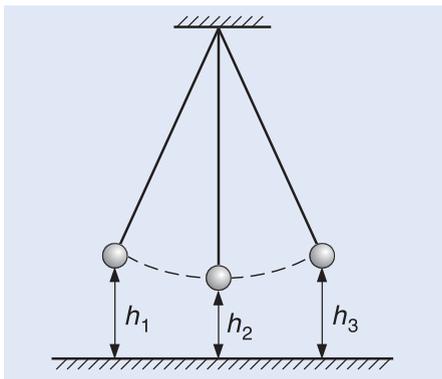


Рис. 248

### Упражнение 22

1. Опишите превращение энергии при качании подвешенного на нити шарика (рис. 248).

2. Сохраняется ли полная механическая энергия при:

- падении мяча с небольшой высоты;
- падении мяча с большой высоты;
- спуске парашютиста с раскрытым парашютом?

3. Какой максимальной высоты может достичь камень массой  $m = 0,20$  кг, брошенный вертикально вверх со скоростью  $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ? Сопротивлением воздуха пренебречь. Коэффициент  $g$  в данной и последующих задачах примите равным  $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

4. С балкона дома с высоты  $h = 10$  м упал резиновый коврик массой  $m = 0,50$  кг. Скорость его движения у поверхности земли была  $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Сохранялась ли механическая энергия? Почему? Решите эту задачу, не используя всех данных.

5. Яблоко массой  $m = 0,30$  кг брошено вертикально вверх со скоростью  $v = 8,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Вычислите его кинетическую, потенциальную и полную энергии на высоте  $h = 1,0$  м. Сопротивлением воздуха пренебречь.

6. Камень, брошенный вертикально вверх, достиг высоты  $h_1 = 20$  м. На какую высоту он поднимется при сообщении ему в 2 раза большей начальной скорости? Сопротивлением воздуха пренебречь.

 7. Шарик бросили с поверхности земли вертикально вверх со скоростью  $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . На какой высоте от поверхности земли скорость шарика уменьшится в 2 раза? Сопротивлением воздуха пренебречь.



### Темы проектных заданий

- Пути повышения КПД механизма.
- Возможен ли вечный двигатель?
- Ветер на службе у человека.
- Качели и закон сохранения механической энергии.

# 6



## Лабораторный эксперимент



«Один опыт я ставлю выше,  
чем тысячу мнений,  
рожденных только воображением».

М. В. Ломоносов



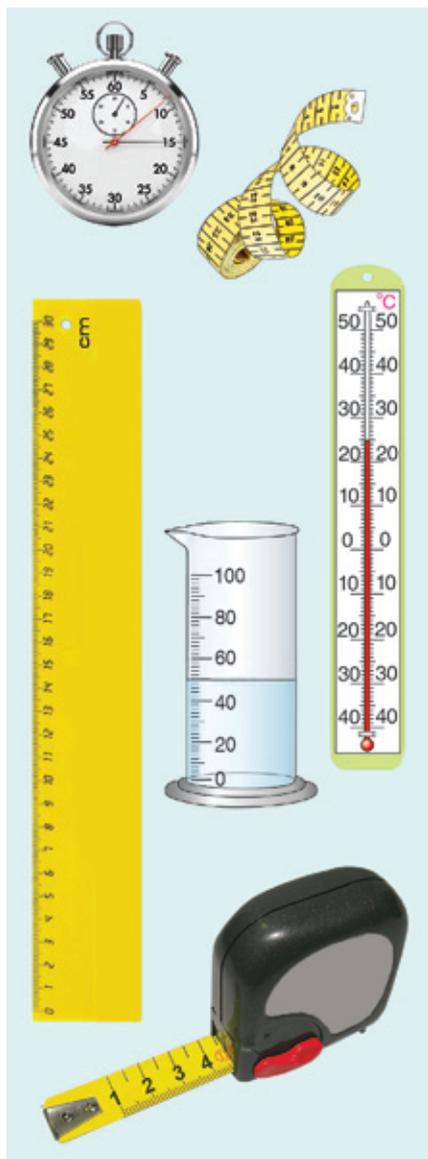


Рис. 249

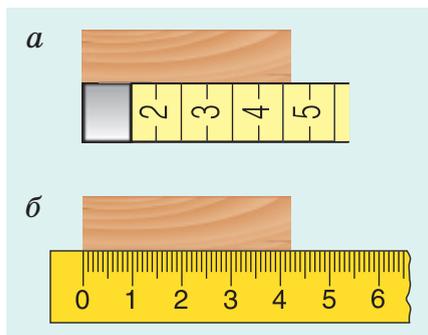


Рис. 250



## Лабораторная работа № 1

## Определение цены деления шкалы измерительного прибора

**Цель:** научиться определять цену деления шкалы измерительного прибора и оценивать погрешность измерения данным прибором.

**Оборудование:** линейка, рулетка, мерная лента, мензурка, термометр бытовой, секундомер (рис. 249).

### Проверьте себя

1. Что такое цена деления шкалы прибора и как ее определить?
2. Что такое верхний и нижний пределы значений шкалы измерительного прибора?
3. Чем определяется погрешность измерения данным прибором?

### Ход работы

1. Определите и занесите в таблицу цену деления шкал представленных на рисунке 249 приборов.
2. Определите и занесите в таблицу значения верхнего и нижнего пределов измерения, а также цену деления шкал приборов, представленных на рисунке 249.

Измерительный прибор	Верхний предел	Нижний предел	Цена деления
Линейка			
Рулетка			
Мерная лента			
Мензурка			
Термометр бытовой			
Секундомер			

### Контрольные вопросы

1. Как связана погрешность измерения с ценой деления шкалы прибора?

2. С одинаковой ли погрешностью будет измерена длина бруска мерной лентой (рис. 250, а) и линейкой (рис. 250, б)? Почему?

3. Каким термометром (рис. 251) можно измерить температуру кипящей воды? Температуру в морозильной камере? Почему?

4. От чего зависит минимальное и максимальное значение величины, которую можно измерить прибором?

### Выводы

#### Суперзадание

Объясните, для чего в шкалах высокоточных стрелочных приборов (рис. 252) используют зеркальную полосу.

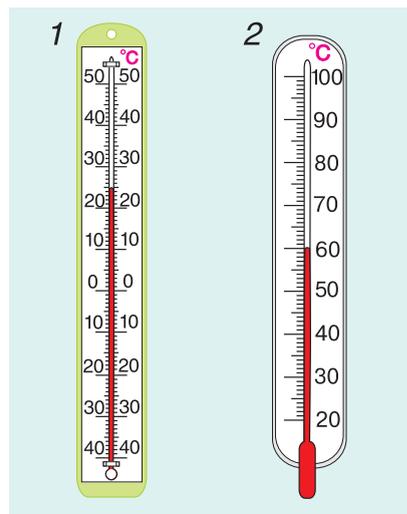


Рис. 251



## Лабораторная работа № 2

### Измерение длины

**Цель:** научиться измерять размеры тел.

**Оборудование:** мерная лента, линейка, тонкая проволока.

#### Проверьте себя

1. Какова цена деления шкалы линейки и мерной ленты?

2. Каким прибором можно измерить длину с меньшей погрешностью?

#### Ход работы

1. Оцените «на глаз» длину столешницы учебного стола. Значение длины занесите в таблицу.

2. При помощи линейки измерьте наибольшее расстояние (пядь) между кончиками расставленных пальцев вашей руки — указательного и большого (рис. 253). В таблице на странице 160 после слова «пядь» в скобках укажите значение вашей пяди.



Рис. 252



Рис. 253

3. Измерьте пядью длину столешницы учебного стола и занесите значение длины в таблицу.

4. Измерьте мерной лентой длину столешницы учебного стола и занесите значение длины в таблицу.

5. Измерьте линейкой длину столешницы учебного стола и занесите значение длины в таблицу.

6. Сравните значения длины столешницы, полученные в пунктах 1, 3—5. Сделайте выводы.

Измерительный прибор	Длина столешницы $l$ , см
«На глаз»	
Пядь	
Мерная лента	
Линейка	

### Контрольные вопросы

1. Какое из проведенных измерений длины столешницы учебного стола наиболее точное (с меньшей погрешностью)? Почему?

2. Выразите результат, полученный в пункте 4, в миллиметрах (мм), дециметрах (дм), метрах (м) и километрах (км).

3. В каких единицах удобнее всего выражать длину столешницы? Обоснуйте ответ.

### Выводы

#### Суперзадание

Предложите способ и измерьте диаметр тонкой проволоки.



## Лабораторная работа № 3

### Измерение объема

**Цель:** научиться измерять объемы жидкостей, твердых тел правильной и произвольной формы, а также вместимость сосудов.

**Оборудование:** линейка, прямоугольный брусок, мензурка, твердые тела неправильной формы, сосуд с водой, чайная и столовая ложки (рис. 254).

#### Проверьте себя

1. В каких единицах измеряют объем мензуркой?
2. Как связаны данные единицы с  $\text{см}^3$ ,  $\text{дм}^3$  и  $\text{м}^3$ ?



Рис. 254

Указания к проведению измерений и записи результатов.

1. Обратите внимание на правильное расположение глаз при снятии показаний со шкалы мензурки. Чтобы правильно измерить объем жидкости, глаза должны находиться на уровне поверхности жидкости (рис. 255).

2. Поскольку  $1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$ , то объемы жидкостей выражают как в миллилитрах, так и в кубических сантиметрах. Однако объемы твердых тел выражать в миллилитрах не принято.

### Ход работы

1. Измерьте с помощью линейки объем твердого тела правильной формы (рис. 256). Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Размеры бруска			Объем бруска	
Длина $a$ , мм	Ширина $b$ , мм	Высота $c$ , мм	$V$ , мм <sup>3</sup>	$V$ , см <sup>3</sup>

2. Измерьте с помощью мензурки объемы твердых тел неправильной формы, которые можно поместить в мензурку. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Название тела	Объем воды $V_1$ , мл	Объем воды с телом $V_2$ , мл	Объем тела $V = V_2 - V_1$ , см <sup>3</sup>



Рис. 255

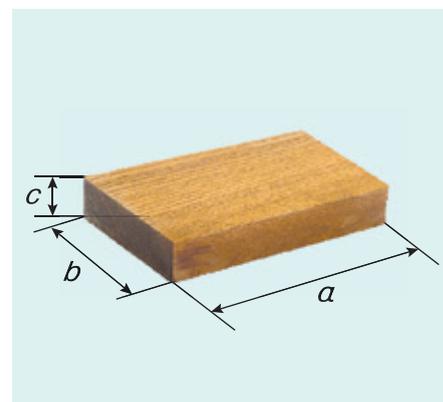


Рис. 256



Рис. 257

3. Вливая в мензурку воду с помощью чайной и столовой ложек, измерьте вместимость этих ложек. Результаты занесите в таблицу.

Вид сосуда	Число $N$ влитых ложек	Объем влитой воды $V$ , мл	Вместимость ложки $V_0$ , мл
Ложка чайная			
Ложка столовая			

### Контрольные вопросы

1. Прямыми или косвенными измерениями были определены объемы бруска и тел неправильной формы, а также вместимости ложек?
2. Как можно уменьшить погрешность измерения вместимости сосуда (чайной и столовой ложек)?

### Выводы

#### Суперзадание

Предложите и опишите способ измерения объема твердого тела, которое невозможно поместить в мензурку (рис. 257).



## Лабораторная работа № 4

### Изучение неравномерного движения

**Цель:** научиться измерять среднюю скорость неравномерного движения.

**Оборудование:** лабораторный штатив, металлический желоб, шарик, мерная лента, цилиндрический упор, транспортер, секундомер, шарик на нити.

#### Проверьте себя

1. Что нужно знать, чтобы определить среднюю скорость движения?
2. Зависит ли значение средней скорости от величины выбранного времени движения?

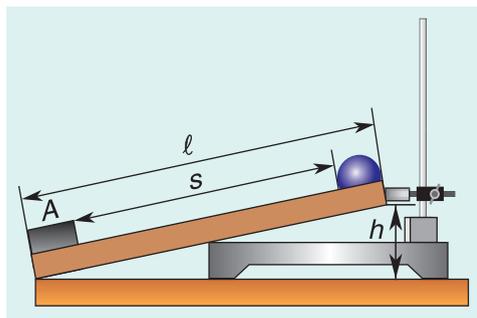


Рис. 258

#### Ход работы

1. Приборные измерения.

Закрепите желоб в штативе (рис. 258), подобрав уклон примерно  $1 : 20$  (уклоном называют отношение высоты подъема  $h$  к длине  $l$ ). В нижней части желоба расположите упор  $A$ .

2. Отпустите шарик из верхней точки желоба одновременно с запуском секундомера. Измерьте время движения шарика до удара об упор  $A$ .

3. Измерьте мерной лентой пройденный шариком путь  $s$  и найдите среднюю скорость  $\langle v \rangle$  его движения.

4. Увеличьте вдвое уклон и повторите измерения согласно пунктам 2—3.

Занесите результаты в таблицу.

Уклон $\frac{h}{l}$	Путь $s$ , см	Время спуска $t$ , с	Средняя скорость спуска $\langle v \rangle$ , $\frac{\text{см}}{\text{с}}$

### Контрольные вопросы

1. Какой физический смысл имеет средняя скорость?  
 2. В каком измерении (при большем или меньшем уклоне) скорость была найдена с меньшей погрешностью? Почему?

3. Можно ли утверждать, что изменение уклона вдвое приводит к изменению средней скорости движения в 2 раза?

### Выводы

#### Суперзадание

Используя мерную ленту, секундомер и транспортир, измерьте среднюю скорость движения раскачивающегося на нити шарика. Возьмите нить длиной 30—40 см, угол между крайними положениями нити 20—30°.



Рис. 259



## Лабораторная работа № 5

### Измерение плотности вещества

**Цель:** научиться измерять плотность вещества.

**Оборудование:** весы, разновес, прямоугольный брусок, линейка, кусок пластилина, мензурка, колба с водой, 5—10 больших металлических гвоздей (рис. 259).

#### Проверьте себя

1. Какие характеристики тела необходимо знать, чтобы определить плотность его вещества?  
 2. В каких единицах в СИ измеряют плотность?

#### Ход работы

1. Изучите правила пользования рычажными весами. Уравновесьте весы, добавляя на более легкую чашу кусочки бумаги. На левую чашу уравновешенных весов положите взвешиваемое тело.

*На чаши весов нельзя класть мокрые, грязные, горячие тела, насыпать без использования подкладки порошки, наливать жидкости.*

Придерживая чаши весов рукой, осторожно поставьте на правую чашу гирию, масса которой, по вашему мнению, близка к массе тела. Если масса гири окажется больше массы тела, уберите гирию и поставьте другую, меньшей массы. Добейтесь равновесия весов, добавляя мелкие гири (гирьки от 500 до 10 мг доставайте из футляра пинцетом).

Подсчитайте общую массу всех гирек. Она равна массе взвешиваемого тела.

После взвешивания разместите гири по своим гнездам в коробке.

2. Измерьте плотность вещества прямоугольного бруска.

2.1. С помощью линейки найдите объем прямоугольного бруска.

2.2. С помощью весов найдите его массу.

2.3. Вычислите плотность вещества бруска. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Название тела	Длина $a$ , см	Ширина $b$ , см	Высота $c$ , см	Объем $V$ , см <sup>3</sup>	Масса $m$ , г	Плотность	
						$\rho$ , $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Брусок							
Кусок пластилина	—	—	—				

2.4. Определите по таблице плотностей (см. с. 73), из какого вещества изготовлен брусок.

3. Измерьте плотность пластилина. С помощью весов и мензурки определите массу и объем куса пластилина. Вычислите плотность пластилина. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

### Контрольные вопросы

1. Путем прямых или косвенных измерений была определена плотность вещества? Поясните свой ответ.

2. Какая из плотностей (вещества бруска или пластилина) была определена с меньшей погрешностью? Ответ обоснуйте.

3. В каком состоянии вещества (твердом, жидком, газообразном) определять плотность труднее всего? Почему?

### Выводы

#### Суперзадание

Измерьте плотность вещества гвоздей, используя только весы и мензурку с водой. Определите, какое это вещество.



## Лабораторная работа № 6

### Изучение силы трения

**Цель:** научиться измерять силу трения скольжения; выяснить факторы, влияющие на ее значение, и сравнить силы трения скольжения и качения.

**Оборудование:** деревянная доска, полоска пластмассы (можно использовать крышку пластмассового стола), деревянный брусок с отверстиями, набор грузов, две цилиндрические палочки или два карандаша, динамометр.

#### Проверьте себя

1. Когда возникает сила трения скольжения? Сила трения качения?
2. Как измерить силу трения?

#### Ход работы

1. Измерьте с помощью динамометра вес деревянного бруска с отверстиями.

2. Передвигая брусок с помощью динамометра (рис. 260, а) равномерно по горизонтальной деревянной доске, измерьте силу упругости  $F_{\text{упр}}$  пружины динамометра, численно равную силе трения. Измерения повторите не менее трех раз, найдите среднее значение этой силы.

3. Повторите измерения, передвигая брусок с помещенными на него грузами (рис. 260, б) массой по 100 г (поочередно с тремя и шестью грузами). Сделайте вывод о причинах изменения силы трения.

4. Сохраняя на бруске шесть грузов, измерьте силу трения скольжения бруска по пластмассовой поверхности. Сравните ее значение с силой трения по деревянной поверхности. Сделайте вывод.

5. Под брусок с шестью грузами поместите две цилиндрические палочки и измерьте силу трения качения. Сравните силы трения скольжения и качения и сделайте вывод.

Составьте таблицу и внесите в нее данные проведенных вами измерений.

#### Контрольные вопросы

1. Каковы причины возникновения силы трения?
2. Почему во всех измерениях необходимо передвигать брусок равномерно?

#### Выводы

#### Суперзадание

Исследуйте, как значение силы трения скольжения зависит от площади соприкосновения трущихся поверхностей тел.

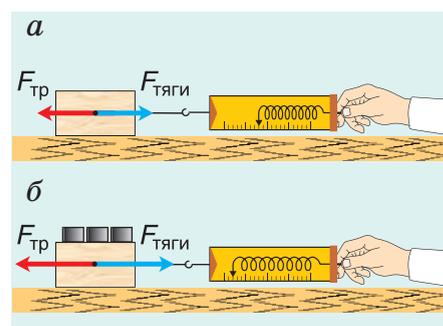


Рис. 260

**Ответы к упражнениям**

**Упражнение 3.** 1.  $C = 5 \frac{\text{МИН}}{\text{ДЕЛ}}$ . 2.  $t = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ . 3.  $N = 3$  деления.

4.  $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ; с погрешностью до  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Упражнение 4.** 3.  $s = 4,3 \text{ км}$ . 4.  $\frac{t_2}{t_1} = 2,5$ . 5.  $t = 6 \text{ мин}$ . 6.  $t \approx 8,3 \text{ мин}$ .

**Упражнение 5.** 1.  $\langle v \rangle = 3,3 \frac{\text{М}}{\text{С}}$ . 3.  $\langle v \rangle = 3 \frac{\text{КМ}}{\text{Ч}}$ . 4.  $\langle v \rangle = 10 \frac{\text{М}}{\text{С}}$ .

5.  $\langle v \rangle = 1 \frac{\text{М}}{\text{С}}$ . 6.  $\langle v \rangle = 2,7 \frac{\text{М}}{\text{С}}$ . 7.  $s = 56 \text{ м}$ ;  $\langle v \rangle = 4 \frac{\text{М}}{\text{С}}$ . 8.  $t = 16 \text{ ч } 30 \text{ мин}$ .

**Упражнение 6.** 3.  $m = 3,6 \text{ т}$ . 5. Полая. 6.  $l = 40 \text{ м}$ . 9.  $\rho_2 = 400 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$ .  
Первая плита из алюминия, вторая — из сосны.

**Упражнение 7.** 3.  $\frac{F_T(\text{РТ})}{F_T(\text{В})} = 13,6$ . 5.  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{m_1}{m_2} = 4$ . 6.  $\frac{F_{T_1}}{F_{T_2}} = k^2$ .

**Упражнение 9.** 2.  $P = F_T = 14 \text{ Н}$ . 5.  $m_1 = 0,1 \text{ кг}$ . 6. Чугун;  $P = F_T = 70 \text{ Н}$ .

**Упражнение 10.** 3.  $F_p = 200 \text{ Н}$ . 4.  $l_1 = 5 \text{ см}$ .

**Упражнение 12.** 6. Увеличится в 12 раз. 8.  $p = 0,18 \text{ МПа}$ . 10.  $b = 25 \text{ см}$ ;  $c = 10 \text{ см}$ .

**Упражнение 13.** 2.  $p = 0,20 \text{ МПа}$ ;  $F = 16 \text{ Н}$ . 3.  $h_1 = 0,10 \text{ мм}$ ;  $h_2 = 10 \text{ м}$ .

4.  $S = 60 \text{ см}^2$ . 5.  $h_B = 9,0 \text{ см}$ ;  $h_M = 10 \text{ см}$ ;  $h'_B = h'_M = 9,5 \text{ см}$ . 6.  $\frac{F_1}{F_2} = 2$ .

**Упражнение 14.** 4.  $P_2 = 0,6 \text{ Н}$ . 5.  $h_K = 9,0 \text{ см}$ . 6.  $\Delta h = 2,0 \text{ см}$ .

**Упражнение 15.** 6.  $p = 90 \text{ кПа}$ . 9.  $F = 0,26 \text{ кН}$ .

**Упражнение 16.** 2.  $h = 36 \text{ м}$ . 3.  $\Delta p = 15,8 \text{ мм рт. ст.}$ . 4.  $p = 45,6 \text{ кПа}$ .

**Упражнение 17.** 4. а)  $A_1 = 0,10 \text{ кДж}$ ; б)  $A_2 = -0,10 \text{ кДж}$ . 7. Неравномерно.

9.  $F_{\text{ТОР}} = 2,0 \text{ кН}$ ;  $F_{\text{УПР}}$  и  $F_T$ . 10.  $h = 0,10 \text{ км}$ ;  $A_T = 80 \text{ кДж}$ ;  $A_p = 40 \text{ кДж}$ .

**Упражнение 18.** 2.  $A_{\text{СОВ}} = 5,0 \text{ МДж}$ ;  $A_{\text{ПОЛ}} = 3,5 \text{ МДж}$ . 3.  $\eta = 89 \text{ } \%$ .

5.  $\eta = 83 \text{ } \%$ . 6.  $\eta = 90 \text{ } \%$ .

**Упражнение 19.** 2.  $A = 2,1 \cdot 10^8 \text{ Дж}$  ( $59 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ ). 3.  $t = 4 \text{ с}$ . 4.  $m = 0,20 \text{ т}$ . 5.  $F_{\text{СОПР}} = 3,0 \text{ кН}$ . 6.  $P = 60 \text{ кВт}$ .

**Упражнение 20.** 2.  $K = 0,20 \text{ МДж}$ . 3.  $\frac{K_1}{K_2} = 42$ . 4.  $K = 0,15 \text{ кДж}$ .

5.  $m = 10 \text{ г}$ . 6.  $|A_{\text{ТР}}| = 80 \text{ кДж}$ . 9.  $\langle F_{\text{СОПР}} \rangle = 2 \text{ Н}$ .

**Упражнение 21.** 6.  $|\Delta \Pi| = 18 \text{ кДж}$ ;  $\Delta K = 0$ . 7.  $\Pi = 3,2 \text{ МДж}$ ;  $\frac{\Pi}{K} = 2,8$ .  
8.  $A = 66 \text{ кДж}$ .

**Упражнение 22.** 3.  $h = 20 \text{ м}$ . 5.  $E = 9,6 \text{ Дж}$ ;  $\Pi = 3,0 \text{ Дж}$ ;  $K = 6,6 \text{ Дж}$ .

6.  $h_2 = 80 \text{ м}$ . 7.  $h = 15 \text{ м}$ .

## Предметный указатель

- Атом 31
- Барометр 127
- Взаимодействие молекул 37, 38
- График
  - пути 59
  - скорости 60
- Давление
  - твердых тел 100
  - гидростатическое 110
  - атмосферное 121
- Диффузия 34
- Закон
  - Паскаля 109
  - сохранения механической энергии 154
- Измерение
  - прямое 15
  - косвенное 15
- Инерция 69
- Коэффициент полезного действия 136
- Масса 71
- Международная система единиц 18
- Механическая работа 132
- Механическое движение
  - поступательное 55
  - равномерное 56
  - переменное 64
- Молекула 30
- Манометр 127
- Мощность 140
- Плотность вещества 72
- Сила
  - упругости 82
  - тяжести 79
  - трения 95
  - вес 85
  - равнодействующая 91
- Скорость
  - равномерного движения 56
  - средняя 64
- Сообщающиеся сосуды 114
- Состояние вещества
  - газообразное 32, 40, 41
  - жидкое 32, 40, 41
  - твердое 32, 40, 41
- Температура 46
- Тепловое расширение 43
- Тепловое движение 34
- Термометр 46
- Физика 6
- Физическое тело 8
- Физическое явление 8
- Физическая величина 9
- Цена деления шкалы 24
- Энергия
  - кинетическая 144
  - потенциальная 147

## Список использованной литературы

1. Пушкин, А. С. Собрание сочинений : в 10 т. / А. С. Пушкин ; под общ. ред. Д. Д. Благого [и др.]. — М. : Художественная литература, 1959—1962. — Т. 1 : стихотворения 1814—1822. — 1959. — С. 594.
2. Толстой, Л. Н. Собрание сочинений : в 22 т. / Л. Н. Толстой. — М. : Художественная литература, 1978—1985. — Т. 10 : повести и рассказы 1872—1886. — 1982. — С. 143—144.
3. Савицкая, С. Распутай время / С. Савицкая. — Текст : электронный. — URL: <https://perorusi.ru/s/about/> (дата обращения : 11.03.2022).
4. Храмов, Ю. А. Физики : биографический справочник. — М. : Наука, 1983.
5. Щипачев, С. Избранные произведения : в 2 т. / С. Щипачев. — М. : Художественная литература, 1970.

(Название учреждения образования)

Учебный год	Имя и фамилия учащегося	Состояние учебника при получении	Оценка учащемуся за пользование учебником
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

Учебное издание

**Исаченкова** Лариса Артемовна  
**Громько** Елена Владимировна  
**Лещинский** Юрий Дмитриевич

**ФИЗИКА**

Учебник для 7 класса  
учреждений общего среднего образования  
с русским языком обучения

2-е издание, пересмотренное и дополненное

Зав. редакцией *Г. А. Бабаева*. Редактор *Н. М. Алганова*.

Художники *Е. Г. Дашкевич*, *Е. А. Ждановская*.

Художественные редакторы *Е. А. Ждановская*, *Е. А. Проволович*.

Техническое редактирование и компьютерная верстка *И. И. Дубровской*.

Корректоры *О. С. Козицкая*, *Е. П. Тхир*, *А. В. Алешко*.

Подписано в печать 14.05.2022. Формат  $84 \times 108^{1/16}$ . Бумага офсетная. Гарнитура школьная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,64+0,42 форз. Уч.-изд. л. 11,12+0,48 форз. Тираж 120 000 экз. Заказ .

Издательское республиканское унитарное предприятие «Народная асвета» Министерства информации Республики Беларусь. Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/2 от 08.07.2013. Пр. Победителей, 11, 220004, Минск, Республика Беларусь.

Открытое акционерное общество «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/3 от 10.09.2018. Ул. Корженевского, 20, 220024, Минск, Республика Беларусь.

Правообладатель Народная асвета