

# ФИЗИКА

# 7

## КЛАСС

Учебник для 7 класса  
общеобразовательных учебных заведений  
с обучением на русском языке

Под редакцией  
В. Г. Барьяхтара, С. А. Довгого

Рекомендовано  
Министерством образования и науки Украины

Харьков  
Издательство «Ранок»  
2015

## Дорогие друзья!

В этом учебном году начинается ваше путешествие в мир новой для вас науки — физики. Вы будете наблюдать явления природы, проводить настоящие научные эксперименты и на каждом уроке делать собственные открытия.

Вам встретятся не только хорошо известные из курса природоведения понятия: «физическое тело», «вещество», «атом», «молекула», «диффузия», «механическое движение», — но и много новых.

Конечно, ни одно настоящее путешествие не бывает легким, зато вы узнаете много нового и удивительного об окружающем мире. А учебник, который вы держите в руках, станет для вас надежным помощником.

Будьте внимательны и настойчивы, изучая каждый параграф, и тогда вы сможете понять суть изложенного материала и применить полученные знания в повседневной жизни.

Обратите внимание на то, что параграфы заканчиваются рубриками: «Подводим итоги», «Контрольные вопросы», «Упражнение». Для чего они нужны и как с ними лучше работать?

В рубрике «Подводим итоги» представлены сведения об основных понятиях и явлениях, с которыми вы ознакомились в параграфе, а значит, вы сможете еще раз обратить внимание на главное.

«Контрольные вопросы» помогут выяснить, поняли ли вы изученный материал. Если вы сможете ответить на все вопросы, то все в порядке, а если нет, снова вернитесь к тексту параграфа.

Рубрика «Упражнение» сделает ваше путешествие в мир физики еще более увлекательным. Задания этой рубрики дифференцированы по уровням сложности — от достаточно простых, требующих только внимательности, до творческих, при выполнении которых следует проявить сообразительность и настойчивость. Номер каждого задания имеет свой цвет (в порядке повышения сложности: синий, зеленый, оранжевый, красный, фиолетовый). Некоторые задания служат для повторения материала, изученного в курсах природоведения, математики или на предыдущих уроках физики.

Те, кто не привык останавливаться на достигнутом, найдут много полезного в материалах, отмеченных «\*».

Без сомнений, интересной и полезной окажется для вас *Интернет-поддержка*: на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение» ([interactiv.ranok.com.ua](http://interactiv.ranok.com.ua)) предложены видеоролики, которые демонстрируют этапы проведения предложенных в учебнике лабораторных работ, показывают в действии тот или иной физический опыт или процесс; тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой.

Физика — наука прежде всего экспериментальная, поэтому в учебнике вас ожидают экспериментальные задания и лабораторные работы. Обязательно выполняйте их — и вы будете лучше понимать физику. Советуем выполнять задания «со звездочкой», которые помогут вам научиться представлять результаты экспериментов так, как это делают настоящие ученые. Однако прежде следует ознакомиться с соответствующим материалом в § 5.

Материалы, предложенные в конце каждого раздела в рубриках «Подводим итоги раздела» и «Задания для самопроверки к разделу», помогут систематизировать полученные знания и будут полезны при повторении изученного, подготовке к контрольным работам.

При работе над учебными проектами советуем внимательно ознакомиться с некоторыми советами по их созданию и презентации, приведенными в конце учебника.

Для тех, кто хочет больше узнать о развитии физической науки и техники в Украине и мире, найдется много интересного и полезного в рубриках «Физика и техника в Украине» и «Энциклопедическая страница».

Обратите внимание на то, что в учебнике использованы обозначения, которые помогут вам ориентироваться в материале:



Подводим итоги



Задание на повторение



Контрольные вопросы



Экспериментальное задание



Упражнение



Интернет-поддержка

*Интересного вам путешествия в мир физики и удачи!*

# РАЗДЕЛ

# 1

## ФИЗИКА — НАУКА О ПРИРОДЕ. ПОЗНАНИЕ ПРИРОДЫ

- Вы знаете, как измерить длину предметов, например шнура, а узнаете, как определить размер молекулы
- Вы умеете определять объем прямоугольного параллелепипеда, а научитесь измерять объем тела любой формы
- Вы знаете, как выглядят модели самолетов, а выясните, можно ли увидеть физические модели и для чего их создают



## § 1. ФИЗИКА — НАУКА О ПРИРОДЕ. ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕЛА И ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

В переводе с древнегреческого слово «физика» значит «природа». *Физика — наука о природе*, одна из *естественных наук*. Обратимся к толковому словарю. Словом «природа» обычно называют окружающий нерукотворный мир. Но существует и другое толкование: природа — это сущность, основное свойство чего-либо. Вспомните: «природа молнии», «природа вулканической деятельности», «природа тел Солнечной системы». Попробуем определить, в каком же понимании использовано слово «природа» в названии предмета, который вы начинаете изучать.

### 1 Узнаем, как зарождалась физика

Еще в древности люди начали исследовать окружающий мир. Прежде всего это было вызвано повседневными потребностями: надежно защититься от непогоды и хищников, собрать урожай, противостоять врагу и т. д. Людям нужно было научиться поднимать и перемещать тяжелые камни, чтобы строить дома с крепкими стенами; выплавлять металл из руды, чтобы изготавливать плуги, топоры, наконечники стрел...

Но не только практические потребности побуждали людей к изучению природы. Любознательность, присущая человеку, подталкивала его к поиску ответов на многочисленные вопросы (рис. 1.1): как возникли Земля и Солнце, Луна и звезды? как летают птицы и как плавают рыбы? почему случаются землетрясения, наводнения, засухи, пожары? откуда появился человек и каково его предназначение? Так начала зарождаться наука о природе, которую сегодня называют *природоведение (естествознание)*. Со временем объем знаний увеличивался и единая «наука о природе» стала распадаться на отдельные дисциплины (рис. 1.2).

Еще в древние времена возникла *астрономия* — наука, изучающая расположение и движение небесных тел, позже — *философия* (в переводе



Рис. 1.1. Пытаясь понять окружающий мир, человек задает себе множество вопросов и ищет на них ответы



Рис. 1.2. Физика, химия, география, биология, медицина берут свое начало в природоведении

с древнегреческого это слово означает «любовь к мудрости»). Философы собирали знания об окружающем мире, дополняли их собственными идеями и передавали ученикам. Основателем физики считают древнегреческого философа *Аристотеля* (рис. 1.3). Одну из своих работ, в которой были систематизированы естественнонаучные знания, существующие на то время, Аристотель назвал «Физика».

## 2 Выясняем, что ученые называют материей

Услышав слово «материя», многие из вас наверняка представят какую-нибудь ткань. Но для ученых это понятие намного шире! *Материя — это все то, что нас окружает.*

Наблюдая мир вокруг, вы видите разнообразные физические тела (рис. 1.4). Любое физическое тело состоит из *вещества* — металла, пластика, дерева, воздуха и т. д. *Вещество — это один из видов материи.*

**Физическое тело** — это объект из вещества, имеющий внешнюю границу.

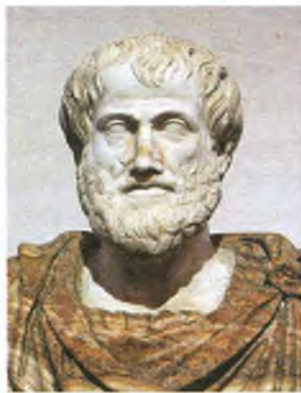


Рис. 1.3. Аристотель (384–322 гг. до н. э.)



Рис. 1.4. Примеры физических тел



Рис. 1.5. Примеры природных явлений

Физические тела могут быть твердыми (карандаш, камень), жидкими (капли дождя, растительное масло в бутылке), газообразными (воздух в воздушном шарике). Многие тела имеют твердые, жидкие и газообразные составляющие (живые существа, автомобили, тучи).

**?** Попробуйте привести еще несколько подобных примеров.

В XIX в. ученые установили, что кроме вещества существует *еще один вид материи* — поле. С помощью электромагнитного поля — невидимых электромагнитных волн — мы, например, имеем возможность общаться по мобильному телефону, капитан корабля может определить координаты своего судна через спутник. На подобных волнах работают радио и телевидение. Свет тоже является примером электромагнитного поля.

Вещество и поле различаются своими свойствами, однако могут превращаться друг в друга. Свет Солнца и звезд, рождение элементарных частиц в современных ускорителях — результаты таких превращений.

В конце XX в. учеными были открыты новые материальные сущности — **темная материя** и **темная энергия**, физическая природа которых пока не установлена. По данным 2013 г., Вселенная только на 4,9 % состоит из «обычной» материи (вещества и поля), а на 95,1 % — из темной материи и темной энергии. Вопрос о свойствах этих загадочных субстанций — одна из главных проблем современной физики.

### **i 3** Рассматриваем физические явления

Мир вокруг нас непрерывно изменяется. Тела перемещаются относительно друг друга, некоторые из них сталкиваются и, возможно, разрушаются, из одних тел образуются другие... Перечень таких изменений можно продолжать и продолжать — недаром еще древнегреческий философ *Гераклит* (ок. 544–483 гг. до н. э.) сказал: «Все течет, все изменяется». Изменения в природе ученые называют *природными явлениями* (рис. 1.5).



**Рис. 1.6.** Сложное природное явление — гроза — представляет собой совокупность разных физических явлений

Чтобы лучше понять сложные природные явления, ученые рассматривают их как **совокупность физических явлений** — *явлений, которые можно описать с помощью физических законов.*

Так, грозу можно рассматривать как совокупность молнии (электромагнитное явление), грома (звуковое явление), движения туч, падения капель дождя (механические явления) и др. (рис. 1.6).

Рассмотрите примеры некоторых физических явлений, приведенные в таблице. Казалось бы, что может быть общего между полетом ракеты, падением камня, бегом коня, вращением Земли? Ответ прост. Все эти явления — *механические*, и описываются они одними законами — *законами механического движения.*

Приведем еще один пример. Снимая свитер или расчесывая волосы пластмассовой расческой, вы, наверное, обращали внимание на возникновение крохотных искорок. Эти искорки и мощный разряд молнии относятся к *электромагнитным явлениям* (рис. 1.7), а значит, подчиняются одним и тем же законам. Поэтому для исследования электромагнитных

Физические явления	Примеры
Механические	Полет ракеты, падение камня, бег коня, вращение Земли вокруг Солнца
Звуковые	Звон колоколов, пение птиц, топот копыт, раскаты грома, беседа
Тепловые	Замерзание воды, таяние снега, нагревание еды, сгорание топлива в цилиндре двигателя
Электромагнитные	Разряд молнии, электризация волос, притяжение магнитов
Световые	Свечение электрической лампочки, солнечные и лунные затмения, радуга





**Рис. 1.7.** Примеры электромагнитных явлений

явлений не обязательно ждать грозы. Достаточно изучить, как ведут себя безопасные искорки, чтобы понять, чего ждать от молнии и как избежать возможной опасности.

Изучая физические явления, ученые, в частности, устанавливают их *взаимосвязь*. Так, разряд молнии (электромагнитное явление) обязательно сопровождается значительным повышением температуры в канале молнии (тепловым явлением). Исследование этих явлений в их взаимосвязи позволило не только лучше понять природное явление — грозу, но и найти путь для практического применения электрического разряда. Примером может быть *электросварка* — способ соединения металлических деталей с помощью электрического разряда (см. [рис. 1.7](#)) (каждый, кто проходил мимо строительной площадки, наверняка видел рабочих в защитных масках и ослепительные вспышки). Электросварка — это пример практического использования результатов научных исследований.

#### 4 Выясняем, что изучает физика

**Физика** — это наука, изучающая наиболее общие закономерности явлений природы, свойства, строение материи и законы ее движения.

*Физика является основной из естественных наук.* Почему так? Чем она отличается от других естественных наук — биологии, химии, астрономии, географии и т. д.

Во-первых, *физика изучает наиболее общие закономерности*, которые определяют структуру и поведение самых разных объектов — от гигантских звезд до очень маленьких атомов.

Во-вторых, *законы физики являются основой для всех естественных наук*. Например, в *астрономии* законы физики объясняют причины свечения и строение звезд, образование планет, движение космических объектов. В *географии* законы физики применяют для объяснения климата, течений рек, образования рельефа. В *химии* именно физика объясняет направление и скорость протекания химических реакций.

#### 5 Убеждаемся, что физика является основой техники

Сравним морские путешествия в старину и сегодня ([рис. 1.8](#)). В отличие от парусников прошлого, судно XXI в. имеет двигатель и не



**Рис. 1.8.** В конце XV в. испанский мореплаватель Христофор Колумб плыл к берегам современной Америки два месяца. Сегодня это расстояние суда могут преодолеть менее чем за неделю

зависит от прихотей ветра. У современного капитана есть подробная карта; судно имеет GPS-навигатор, благодаря которому всегда известны курс и месторасположение судна; сонар, предупреждающий о подводных скалах и рифах; радар, который обнаружит айсберги, скалы и другие суда в условиях плохой видимости\*. В случае аварии всегда можно вызвать помощь по радио. Очевидно, что с современным оборудованием морские путешествия стали более быстрыми и безопасными.

На протяжении всей истории люди создавали технические устройства на основе физических знаний.

Изучение тепловых явлений привело к созданию тепловых двигателей, которые устанавливаются на автомобилях и мотоциклах, судах и самолетах, тепловых электростанциях и ракетносителях.

Благодаря открытиям в области электричества мы имеем возможность освещать помещения и улицы, пользоваться телевизором, телефоном, компьютером, уютном, стиральной машиной и др.

Примерно половина электроэнергии в нашей стране вырабатывается на атомных электростанциях, созданных благодаря открытиям в области ядерной физики.

Врачи и строители, путешественники и земледельцы, энергетики и машиностроители пользуются устройствами и технологиями, создание которых стало возможным благодаря знанию законов, в свое время открытых физиками.



### Подводим итоги

Вселенная состоит из разных видов материи — вещества и поля. Недавно были открыты темная материя и темная энергия, природа которых пока точно не установлена. Все физические тела «построены» из вещества.

\* *GPS* — всемирная система определения местонахождения; *сонар* — устройство для исследования морского дна с помощью ультразвуковых волн; *радар* — устройство для обнаружения объектов с помощью электромагнитных волн. О GPS-навигаторе, сонаре, радаре см. также на «Энциклопедической странице» в конце раздела 1.

В природе постоянно происходят изменения, которые называют природными явлениями. Сложные природные явления рассматривают как совокупность физических явлений — таких, которые можно описать с помощью физических законов. Физические явления бывают тепловые, световые, механические, звуковые, электромагнитные и др.

Физика является основной из естественных наук. Она изучает наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, законы движения материи.



### Контрольные вопросы

1. Что означает слово «физика» в переводе с греческого?
2. Что такое материя? Какие существуют виды материи?
3. Приведите примеры физических тел. Укажите, какие это тела (жидкие, твердые, газообразные, имеющие смешанную структуру).
4. Приведите примеры физических явлений — электромагнитных, тепловых, световых, механических, звуковых.
5. Что изучает физика?
6. Почему физика является основой для всех естественных наук?
7. Приведите доказательства того, что физика — основа техники.



### Упражнение № 1

1. Назовите вещества, из которых состоят такие тела: учебник, карандаш, футбольный мяч, стакан, автомобиль.
2. Проанализируйте приведенное ниже предложение и заполните таблицу\*.

*Исследователь положил кусок олова в стальной сосуд и расплавил олово в пламени газовой горелки.*

Физическое явление	Физическое тело	Вещество

3. Определите, о каком физическом явлении идет речь в каждом предложении.

*Вращается винт электромотора. Проволока нагрелась в пламени горелки. Окружающий мир мы видим разноцветным.*

4. Подумайте, какие физические явления можно «увидеть» в природных явлениях: извержение вулкана; наводнение; схождение снежной лавины; «падение» звезды.
5. Приведите примеры применения физических знаний в быту.
6. Закономерности каких физических явлений следует знать, чтобы создать автомобиль?



7. Представьте, что вы попали на необитаемый остров. Как вы можете узнать, из каких веществ состоят окружающие тела и в каком агрегатном состоянии они находятся? Попробуйте записать план ваших исследований и проиллюстрировать его.

\* Разумеется, таблицы, приведенные в учебнике, следует переносить в тетрадь. Количество столбцов в таблице должно быть таким, как в учебнике, а вот количество строк, как правило, нужно увеличить.

## § 2. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА. МОЛЕКУЛЫ. АТОМЫ

Из курса природоведения 5 класса вы знаете, что все вещества состоят из мельчайших частиц — молекул, атомов. Вы также знаете, что атомы имеют специальные названия и символы для обозначения, например: Гидроген (H), Оксиген (O), Карбон (C), Сульфур (S).

Сейчас науке известны 118 разных видов атомов и при этом — миллионы разных молекул. Как объясняется такое расхождение в цифрах?

### 1 Различаем атом и молекулу

Каждое вещество состоит из определенных молекул и только из них. Так, вещество метанол состоит из молекул метанола, а вещество муравьиная кислота состоит из молекул муравьиной кислоты.

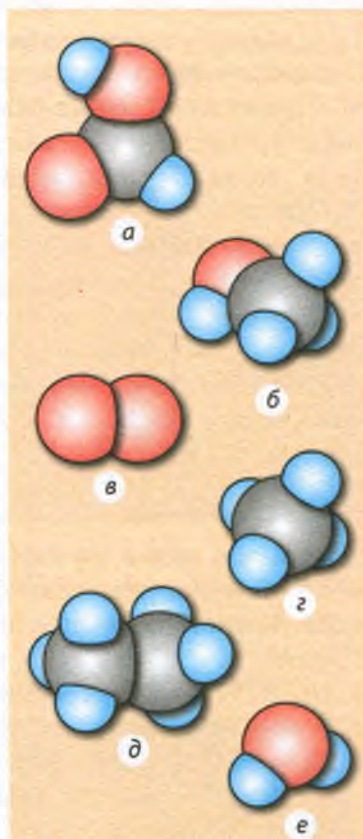
Прежде чем начать изучение строения молекулы, вспомним алфавит. В нем всего 33 буквы, но каждый из вас может составить из этих букв тысячи слов! А теперь проведите аналогию: буква — атом, слово — молекула. Каждое слово — это определенная комбинация букв. Точно так же *каждая молекула — это определенная комбинация атомов.*

Используя эту аналогию, рассмотрим схематическое изображение двух молекул — молекулы муравьиной кислоты и молекулы метанола (рис. 2.1, а, б).

Видим, что эти молекулы содержат одинаковые виды атомов, но очевидно, что эти молекулы — разные: молекула муравьиной кислоты состоит из 5 атомов (и является аналогом слова, в котором 5 букв), а молекула метанола состоит из 6 атомов (и является аналогом слова, в котором 6 букв). Таким образом, *каждая новая комбинация даже одних и тех же видов атомов соответствует новой молекуле.*

Существует множество слов, имеющих одинаковое количество букв, — точно так же в разных молекулах может быть одинаковое количество атомов.

Таким образом, *из 118 видов атомов можно составить миллионы разных молекул и, соответственно, получить миллионы разных веществ.*



**Рис. 2.1.** Схематическое изображение молекул некоторых веществ: а — муравьиной кислоты (НСООН); б — метанола (СН<sub>3</sub>ОН); в — кислорода (О<sub>2</sub>); г — метана (СН<sub>4</sub>); д — этана (С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub>); е — воды (Н<sub>2</sub>О).

Синие шарики — модели атомов Гидрогена, серые — Карбона, красные — Оксигена

**1** Рассмотрите рис. 2.1. Сколько видов атомов содержит каждая молекула? Сколько атомов в каждой молекуле? Может ли молекула состоять из одинаковых атомов? Может ли в разных молекулах быть одинаковое количество атомов?

## **2** Пытаемся представить размеры атомов

Мир молекул, атомов и их составляющих называют *микромиром*. Характеризуя объекты микромира, ученые используют числа, существенно отличающиеся от тех, с которыми люди имеют дело в повседневной жизни. Для краткой записи таких чисел используют степень числа  $10^*$ . Так, *размер атома приблизительно равен 0,000 000 0001 м, или  $1 \cdot 10^{-10}$  м*. Попробуем представить, насколько мало это значение.

*Пример 1.* Если из баллона со сжатым воздухом через микроскопическую трещину будет каждую секунду вытекать миллиард молекул воздуха, то за 650 лет масса баллона уменьшится всего на 0,001 г.

*Пример 2.* Головка стальной булавки радиусом 1 мм вмещает около 100 000 000 000 000 000 000, или  $1 \cdot 10^{20}$ , атомов. Если эти атомы разместить друг за другом, получим цепочку длиной 20 миллионов километров, что приблизительно в 50 раз больше расстояния между Землей и Луной.

Увидеть отдельные атомы и молекулы даже в самый мощный оптический микроскоп невозможно, но в XX в. ученые создали приборы, позволяющие не только видеть отдельные атомы, но даже перемещать их с места на место.

## **3** Вспоминаем строение атома

Атом, как и молекула, имеет сложную структуру. Атом представляет собой *ядро*, окруженное легкими частицами — *электронами*. Диаметр ядра намного меньше, чем диаметр собственно атома, — примерно во столько раз, во сколько размер горошины меньше размера футбольного поля. Внутреннее строение атома наглядно описать невозможно, поэтому для объяснения процессов, происходящих в атоме, созданы его физические модели\*\*, например планетарная модель атома (рис. 2.2).

Электроны могут покидать одни атомы и присоединяться к другим. Если атом потерял один или несколько электронов, то атом превращается в *положительный ион*. Если же к атому присоединились один или несколько электронов, то атом превращается в *отрицательный ион*.

## **4** Убеждаемся, что между молекулами есть промежутки

Как вы считаете, если смешать 100 мл воды и 100 мл спирта, каким будет объем смеси? Наверняка многие ответят, что 200 мл. На самом деле он будет меньше! Дело в том, что *между молекулами существуют*

\* Такую запись называют *стандартным видом числа*, то есть это запись числа в виде произведения  $a \cdot 10^n$ , где  $1 \leq a < 10$ ,  $n$  — целое число. Число  $n$  называют *порядком числа*. Например, порядок числа, передающего размер атома, составляет  $-10$ .

\*\* Больше о физических моделях вы узнаете из материала § 3.

промежутки и во время смешивания данных жидкостей молекулы воды попадают в промежутки между молекулами спирта и наоборот. Этот опыт хорошо моделируется с помощью пшена и гороха (рис. 2.3).

## 5 Знакомимся с тепловым движением

Вам уже знакомо такое явление, как *диффузия* (от лат. *diffusio* — распространение, растекание).

**Диффузия** — процесс самопроизвольного проникновения молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого вещества, в результате чего происходит перемешивание соприкасающихся веществ.

Проведем опыт. В прозрачный сосуд с водой аккуратно нальем водный раствор медного купороса — так, чтобы жидкости не перемешались (рис. 2.4). Сначала между водой и раствором будет наблюдаться четкая граница, однако, если оставить сосуд в покое, через несколько дней вся жидкость приобретет бирюзовый цвет (рис. 2.5), то есть жидкости перемешаются.

Причина диффузии — *непрерывное хаотическое движение частиц веществ* (молекул, атомов, ионов). Благодаря этому движению вещества перемешиваются без какого-либо внешнего воздействия.

Непрерывное хаотическое движение частиц вещества называют *тепловым движением*. С увеличением (уменьшением) температуры вещества увеличивается (уменьшается) средняя скорость движения его частиц. Так, если налить раствор медного купороса не в один, а в два сосуда с водой и один сосуд поместить в теплое место, а второй — в холодное, то можно убедиться, что в теплом месте диффузия протекает намного быстрее.

## 6 Подтверждаем взаимодействие молекул

Молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении. Почему же они не разлетаются во все стороны? Более того, тела не

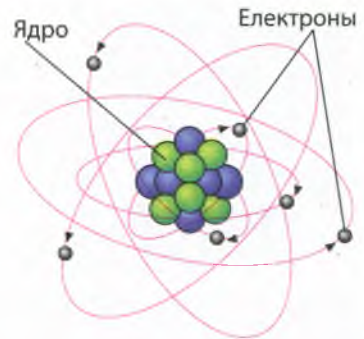


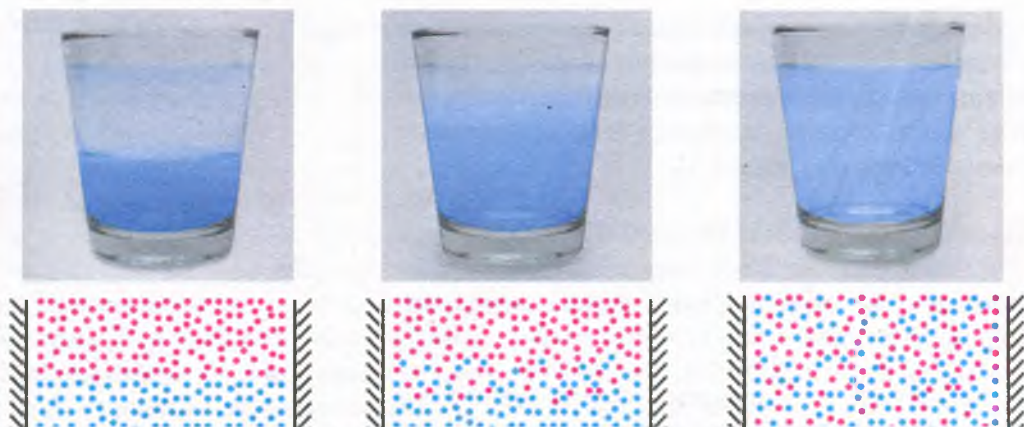
Рис. 2.2. Планетарная модель атома. На самом деле расстояние от ядра до электронов больше размера ядра в 100 000 раз



Рис. 2.3. Объем смеси гороха и пшена меньше, чем сумма объемов компонентов этой смеси: крупинки пшена попали в промежутки между горошинами



Рис. 2.4. Аккуратно налить раствор медного купороса на дно стакана с водой можно с помощью лейки



**Рис. 2.5.** Процесс диффузии и его схематическое изображение: на границе раздела веществ их молекулы меняются местами, и через некоторое время вещества полностью перемешиваются

только не рассыпаются на отдельные молекулы, а наоборот, чтобы их растянуть, сломать, разорвать, нужно приложить усилия. Причина — в притяжении между молекулами. Именно благодаря *межмолекулярному притяжению* твердые тела сохраняют свою форму, жидкость собирается в капли (рис. 2.6), клей прилипает к бумаге, а растянутая пружина возвращает исходную форму.

Если осколки разбитой чашки прижать друг к другу, чашка не станет снова целой. Но почему, ведь между молекулами есть притяжение? Дело в том, что *межмолекулярное притяжение становится заметным только на очень малых расстояниях — сравнимых с размерами самих частиц.* Когда мы прижимаем друг к другу осколки чашки, то из-за неровностей их поверхностей на указанные расстояния приближается незначительное количество молекул. А расстояние между большинством молекул остается таким, что они практически не взаимодействуют.

Попробуйте сжать, например, закрытую пластиковую бутылку, доверху заполненную водой, или монетку — вы почувствуете, что изменить их размеры или форму без дополнительных средств невозможно. Дело в том,



**Рис. 2.6.** Свисающую каплю воды некоторое время удерживают от падения силы притяжения между молекулами

что молекулы не только притягиваются друг к другу, но и отталкиваются. Обычно в жидкостях и твердых телах притяжение уравновешивается отталкиванием. Но если сжимать жидкость или твердое тело, то расстояние между молекулами уменьшится и межмолекулярное отталкивание станет сильнее, чем притяжение.

## 7 Формулируем основные положения молекулярно-кинетической теории

Более 25 столетий назад древнегреческий философ Демокрит (ок. 460–370 гг. до н. э.) предположил, что все тела состоят из маленьких телец (Демокрит назвал их атомами, что в переводе с греческого означает «неделимый»). А вот подтверждение существования атомов и молекул было получено только в XIX в. Именно тогда появилась и была экспериментально обоснована молекулярно-кинетическая теория, рассматривающая строение веществ с точки зрения следующих трех основных положений.

1. Все вещества состоят из частиц — молекул, атомов, ионов; между частицами есть промежутки.

2. Частицы веществ находятся в непрерывном беспорядочном (хаотическом) движении; такое движение называют тепловым.

3. Частицы взаимодействуют друг с другом (притягиваются и отталкиваются).



### Подводим итоги

Все вещества состоят из мельчайших частиц — молекул, атомов, ионов. Между частицами есть промежутки.

Частицы, из которых состоят вещества, находятся в непрерывном хаотическом движении. Такое движение называют тепловым. С увеличением (уменьшением) температуры вещества увеличивается (уменьшается) средняя скорость движения его частиц. Одним из доказательств движения молекул является диффузия — процесс самопроизвольного перемешивания соприкасающихся веществ, который происходит вследствие теплового движения их молекул.

Частицы вещества взаимодействуют — они отталкиваются и притягиваются. Взаимодействие частиц проявляется на расстояниях, сравнимых с размерами самих частиц.



### Контрольные вопросы

1. Сколько видов атомов известно науке? 2. Чем объяснить тот факт, что существуют миллионы разных веществ? 3. Что вы знаете о размере атомов и молекул? 4. Как можно доказать, что между частицами вещества имеются промежутки? 5. Что называют тепловым движением? 6. Дайте определение диффузии. 7. Приведите примеры диффузии. 8. Почему твердые тела и жидкости не распадаются на отдельные частицы? 9. При каком условии взаимодействие между молекулами (атомами, ионами) становится заметным?





## Упражнение № 2

1. Можем ли мы изменить объем тела, не изменяя в этом теле количество молекул? Если можем, то как это сделать?
2. Почему для того, чтобы разорвать нить, нужно приложить усилия?
3. Можно ли приведенное ниже утверждение считать истинным? Ответ обоснуйте.

*Если не использовать дополнительные средства, из двух обломков линейки невозможно получить единое целое, так как между молекулами линейки действуют силы отталкивания.*

4. Вычислите, сколько приблизительно молекул можно разместить вдоль отрезка длиной 0,5 мм. Диаметр молекулы примите равным 0,000 000 0001 м.
5. Площадь пленки, образованной на поверхности воды каплей растительного масла объемом 0,005 мм<sup>3</sup>, не может быть больше 50 см<sup>2</sup>. Какой вывод о размере молекулы растительного масла следует из этого факта?
6. Вспомните и опишите два примера наблюдений и два примера экспериментов, которые вы проводили в 5 или 6 классе. В чем, по вашему мнению, главное отличие наблюдения от эксперимента?



## Экспериментальные задания

1. Возьмите две неглубокие тарелки. В одну налейте немного холодной воды, в другую — примерно столько же горячей. С помощью пипетки капните в центр каждой тарелки несколько капель крепко заваренного чая. Объясните результат.
2. Возьмите мягкую пружину (или тонкую резинку), чистую металлическую (или стеклянную) пластинку, блюдце с водой и продемонстрируйте, что между молекулами воды и металла (стекла) существуют силы притяжения. Опишите свои действия или представьте схематические рисунки (фотографии).



**Видеоопыт.** Посмотрите видеоролик и объясните наблюдаемое явление.

## § 3. НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ. ВКЛАД УКРАИНСКИХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ

Вы каждый день исследуете окружающий мир и получаете новые знания. Например, вы самостоятельно и достаточно давно установили, что ложка, если ее выпустить из рук, обязательно падает вниз, пламя костра устремляется вверх, солнечные лучи нагревают землю, а льдинка холодит ладонь. А как проводят научные исследования ученые? Как они получают новые знания?

## 1 Узнаем, что такое физическое исследование и чем отличаются наблюдения и эксперименты

**Физическое исследование** — это целенаправленное получение новых знаний о физических телах или явлениях.

Обычно физическое исследование начинается с **наблюдения**, когда исследователь наблюдает за явлением, не вмешиваясь в его ход.

Если **результаты** наблюдений **повторяются**, то исследователь на основе полученных данных делает **выводы**. Например, в ходе наблюдений можно установить, что каждую зиму вода в реках, прудах и озерах нашей страны покрывается льдом. По результатам этих наблюдений можно сделать вывод: вследствие сильного охлаждения (до минусовой температуры) вода в реках, прудах и озерах превращается в лед.

Однако далеко не всегда выводы, полученные с помощью наблюдений, истинны. Например, на **рис. 3.1** длина красного отрезка кажется меньше длины синего. Если же измерить длины отрезков линейкой, то окажется, что они равны.

Чтобы не делать подобных ошибочных выводов, ученые проводят **эксперименты (опыты)**.

**Эксперимент (опыт)** — это исследование физического явления в условиях, находящихся под контролем исследователя (**рис. 3.2**).

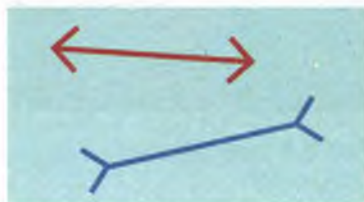
Эксперименты обычно сопровождаются **измерениями**.

Когда ученые проводят серию экспериментов, направленных на изучение определенного физического явления, — это **экспериментальное исследование**. Совсем скоро вы будете выполнять **лабораторную работу** — простейший вид экспериментального исследования.

## 2 Выясняем основные этапы получения новых знаний в ходе физических исследований

Сначала исследователь анализирует увиденное во время наблюдений, а затем **выдвигает гипотезу** — делает некое предположение, связанное с исследуемым явлением.

Например, по результатам наблюдений за состоянием воды в реках и озерах зимой можно выдвинуть гипотезу: после охлаждения до температуры ниже нуля вода всегда (не только в реках и озерах и не только зимой)



**Рис. 3.1.** Длины отрезков равны. В этом легко убедиться с помощью линейки



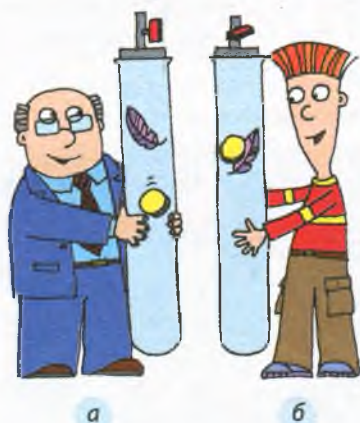
**Рис. 3.2.** Ученые проводят эксперименты (опыты) в специально оборудованных помещениях — физических лабораториях



**Рис. 3.3.** Галилео Галилей (1564–1642)



**Рис. 3.4.** Исаак Ньютон (1642–1727)



**Рис. 3.5.** Эксперименты с «трубкой Ньютона»: в стеклянную трубку поместили монету и птичье перо. Тела начали падение одновременно. Из-за сопротивления воздуха перо «отстало» (а). Из трубки откачали воздух — тела достигли дна трубки одновременно (б)

превращается в лед. Далее исследователь *проводит эксперимент*, с помощью которого проверяет гипотезу.

7 Какой эксперимент вы можете провести, чтобы проверить гипотезу об условии превращения воды в лед?

Благодаря гипотезе и ее экспериментальной проверке исследователь получает *новое знание*. А результат вашего эксперимента наверняка будет таким: при температуре ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  вода всегда превращается в лед\*.

Проведение некоторых экспериментов не требует много времени, но иногда поиски истины продолжаются столетиями. Приведем пример.

Опираясь на повседневный опыт, философы Древней Греции сделали вывод, что более тяжелые предметы всегда падают быстрее, чем легкие. И только почти через две тысячи лет итальянский ученый *Галилео Галилей* (рис. 3.3) выдвинул гипотезу: время падения тел не зависит от их массы, и если бы не было сопротивления воздуха, все тела падали бы одинаково.

По легенде, для подтверждения своей догадки ученый провел исследование, используя для этого знаменитую Пизанскую башню. С вершины этого сооружения он бросал предметы (мушкетную пулю и пушечное ядро), на движение которых сопротивление воздуха влияет незначительно. Результаты экспериментов подтвердили гипотезу ученого: оба предмета достигали земли практически одновременно.

Более точные эксперименты осуществил выдающийся английский ученый *Исаак Ньютон* (рис. 3.4, 3.5). При этом Ньютон не ограничился подтверждением выводов Галилея.

\* Данный вывод является истинным для воды при нормальном атмосферном давлении — предполагается, что эксперимент проведен именно при этом условии. Подробнее об атмосферном давлении вы узнаете из материала § 25.

Проанализировав полученные данные и сделав необходимые вычисления, то есть проведя *теоретические исследования*, И. Ньютон предположил, что и падение тел, и вращение планет Солнечной системы вокруг Солнца подчиняются одному закону. Чтобы обосновать это утверждение, ученый снова обратился к математике. В результате Ньютон открыл *закон всемирного тяготения* — создал *новое знание*.

Со времен Галилея и Ньютона основными методами получения новых знаний стали *экспериментальный* и *теоретический*. Современные экспериментальные исследования невозможно представить без специально сконструированных сложных приборов. В разработке новых теорий участвуют сотни ученых, для теоретических расчетов применяют сверхмощные компьютеры.

При этом и сегодня основные этапы получения новых знаний (*наблюдения* — *гипотеза* — *эксперимент*) остаются неизменными.

Последовательность этапов получения новых знаний в ходе физических исследований можно представить в виде спирали, которая состоит из повторяющихся элементов (рис. 3.6).



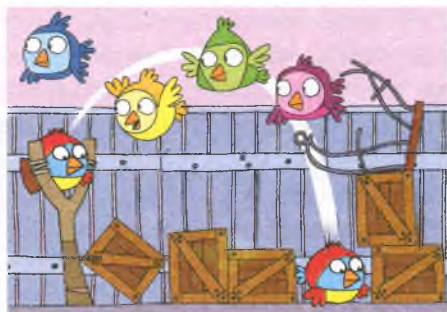
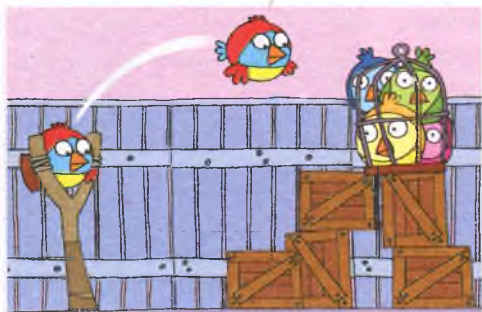
Рис. 3.6. Этапы получения новых знаний в ходе физических исследований

### 3 Выясняем, зачем создают физические модели

Любой физический процесс достаточно сложен и сопровождается многочисленными явлениями. Понятно, что одновременно исследовать все явления, происходящие в ходе данного процесса, и учесть влияние абсолютно всех факторов невозможно. Поэтому в начале физического исследования определяют факторы, существенно влияющие на процесс. Далее ученые создают *физическую модель* процесса — его воображаемый аналог, в котором «действуют» только эти факторы. Какие именно факторы следует учесть, а какими можно пренебречь, определяется целью исследования.

Те из вас, кто играл в компьютерную игру «Angry Birds», уже имели дело с простейшей физической моделью движения тела, брошенного под углом к горизонту (рис. 3.7). Общие закономерности, «работающие» в этой модели, будут выполняться и в случае, например, пушечного выстрела, но с некоторыми поправками — на скорость ветра, качество заряда, износ дула пушки и т. п.

А вот если необходимо рассчитать движение космической ракеты, то поправок должно быть еще больше, ведь следует учесть уменьшение массы ракеты из-за сгорания топлива, изменение температуры внешней среды, постепенное разрежение воздуха и многое другое. Именно поэтому движение ракет моделируют большие коллективы ученых, используя мощнейшие компьютеры.



**Рис. 3.7.** В компьютерной игре «Angry Birds» использована простейшая физическая модель движения тела, брошенного под углом к горизонту

#### 4 Узнаем об украинских физиках

В «сооружение здания» современной физики внесли свой вклад и ученые, связанные с Украиной. Среди самых ярких имен — *Иван Павлович Пулюй* (рис. 3.8), получивший мировое признание за исследования в разных областях экспериментальной физики и электротехники; *Владимир Иванович Вернадский* (1863–1945), первый президент Академии наук Украины (см. с. 24); *Александр Теодорович Смакула* (1900–1983), ученый-изобретатель, известный прежде всего своими работами в области оптики и физики кристаллов; *Лев Васильевич Шубников* (рис. 3.9), ученый, внесший значительный вклад в физику и технику низких температур; *Лев Давидович Ландау* (1908–1968) (см. с. 219); *Николай Николаевич Боголюбов* (1909–1992) (см. с. 104). В Украине родился и работал исследователь радиоактивности и земного магнетизма *Николай Дмитриевич Пильчиков* (рис. 3.10), которого можно отнести к числу первых радиотехников и ядерщиков-экспериментаторов.

О некоторых наших соотечественниках-ученых, а также об известных университетах и исследовательских институтах нашей страны вы узнаете из рубрики «Физика и техника в Украине» в учебниках для 7–9 классов.

Достижения украинских ученых хорошо известны за пределами нашей страны. Материалы и технологии, создаваемые в киевском Институте электросварки им. Е. О. Патона, применяют на всех континентах.



**Рис. 3.8.** И. П. Пулюй (1845–1918)



**Рис. 3.9.** Л. В. Шубников (1901–1945)



**Рис. 3.10.** Н. Д. Пильчиков (1857–1908)

Синтетические кристаллы, которые производят в Институте монокристаллов (Харьков) и на научно-производственном предприятии «Карат» (Львов), не уступают лучшим мировым образцам. В области вычислительной техники и информационных технологий пользуются авторитетом разработки Института кибернетики им. В. Г. Глушкова (Киев). Одним из мировых центров ядерной физики остается Харьковский физико-технический институт Национальной академии наук Украины. На Государственном предприятии «Антонов» (Киев) разработано более 100 типов и модификаций самолетов разных классов, а в Днепропетровске, в конструкторском бюро «Южное» и на заводе «Южмаш», создан один из мощнейших ракетных комплексов.



### Подводим итоги

Основные методы получения новых знаний — экспериментальный и теоретический. На определенном этапе ученые имеют некие знания; в результате наблюдений и размышлений они убеждаются в необходимости усовершенствования этих знаний; затем ученые проводят теоретические исследования, выдвигают гипотезу и подтверждают (или опровергают) ее путем экспериментальной проверки. Результатом становится новое знание.

Перед проведением теоретических исследований физического процесса ученые создают его идеализированный аналог — физическую модель.



### Контрольные вопросы

1. Что такое наблюдение? 2. Приведите примеры физических явлений, знание о которых вы получили в результате собственных наблюдений.
3. Чем эксперимент отличается от наблюдения? 4. Кто и как экспериментально подтвердил гипотезу Г. Галилея о том, что более легкое тело падает медленнее из-за сопротивления воздуха? 5. Каковы основные методы получения новых знаний? Приведите примеры. 6. Расскажите об этапах получения новых знаний в ходе физических исследований.



### Упражнение № 3

1. На Луне, где отсутствует воздух, астронавт Дэвид Скотт взял в руки, а потом одновременно отпустил молоток и птичье перо. Опыт какого ученого повторил астронавт? Как вы думаете, какой результат он получил?
2. Какой круг на рисунке больше — окруженный маленькими кругами или окруженный большими кругами? Каким методом физического познания можно воспользоваться, чтобы ответить на вопрос?
3. В науке различают такие понятия: 1) явление, наблюдаемое постоянно; 2) экспериментальный факт; 3) гипотеза. Определите, к какому из понятий относятся приведенные утверждения:
  - а) при отсутствии сопротивления воздуха все тела падают с одинаковой высоты за одно и то же время;
  - б) вероятно, различие в скорости падения тел разной массы объясняется сопротивлением воздуха;
  - в) тело, выпущенное из рук, падает.



4. Чтобы уменьшить вредное влияние выхлопных газов на окружающую среду, ученые провели некоторые расчеты и предложили состав нового топлива для двигателя автомобиля. Чтобы узнать, какой при этом будет тяга двигателя, его испытали на специальном стенде. В каком случае ученые выполнили экспериментальное исследование, а в каком — теоретическое? Ответ обоснуйте.



5. Назовите минимум шесть измерительных приборов, которыми вы пользовались на уроках математики, природоведения и в повседневной жизни. Что вы измеряли с помощью каждого из этих приборов? В каких единицах получали результаты?



### Экспериментальные задания

1. Понаблюдайте какое-нибудь физическое явление и опишите его по плану на форзаце учебника (используйте только пункты 1, 2, 4).

2. Возьмите несколько одинаковых листов бумаги и придайте им, кроме одного, разную форму (сложите, сомните и т. п.). Предложите гипотезу о скорости падения данных тел. Проверьте свою гипотезу экспериментально. Объясните результаты эксперимента.



**Видеоопыт.** Посмотрите видеоролик, объясните наблюдаемое явление.

### Физика и техника в Украине



Первый президент Академии наук Украины **Владимир Иванович Вернадский** (1863–1945) был величайшим естествоиспытателем, ученым, который не только развивал известные на то время научные направления, но и стал основоположником нескольких новых наук.

Сегодня многие международные организации в своих прогнозах развития человечества опираются на *концепцию устойчивого развития общества*, которая является продолжением учения В. И. Вернадского о *ноосфере* (сфере взаимодействия общества и природы). Суть этой концепции заключается в том, чтобы от поколения к поколению не снижались качество и безопасность жизни людей, не ухудшалось состояние окружающей среды, происходил социальный прогресс.

## § 4. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Как вы думаете, насколько часто люди выполняют измерения? Насколько важно уметь делать это правильно? Каких последствий следует ожидать, если результаты измерений будут ошибочными? Чтобы помочь вам ответить на эти вопросы, напомним несколько приборов, которыми вы и ваша семья пользуетесь практически ежедневно: часы, весы, термометр, спидометр, манометр... Надеемся, вы убедились в необходимости внимательно изучить этот параграф!

## 1 Определяем понятие «физическая величина»

Для описания каких-либо явлений или свойств тел люди издавна используют их характеристики. Например, когда мы говорим, что теннисный шарик меньше воздушного шара, то имеем в виду, что *объем* теннисного шарика меньше объема воздушного шара. Объем — пример *физической величины*. Эта величина характеризует *общее свойство* тел занимать некоторую часть пространства (рис. 4.1, *а*). Еще одним примером физической величины может служить уже известное вам понятие *скорость движения*, которое является характеристикой движения тел (рис. 4.1, *б*).

**Физическая величина** — это количественно выраженная характеристика тела или физического явления.

Разумеется, объем и скорость движения — это далеко не все физические величины, которыми оперирует физика. Даже в повседневной жизни мы имеем дело с большим количеством физических величин: длина, площадь, объем, масса, время, путь, температура.

Какую физическую величину измеряет человек при простуде?

Для удобства каждую физическую величину обозначают определенным символом (буквой латинского или греческого алфавита). Например, объем обозначают символом  $V$ , время — символом  $t$ , скорость движения — символом  $v$ .

## 2 Узнаем о Международной системе единиц

В романе Жюль Верн «Пятнадцатилетний капитан» есть такой эпизод: «Пройдя шагов триста по берегу реки, маленький отряд вступил под покров девственного леса, по извилистым тропинкам которого ему предстояло странствовать...»

Проанализируем этот отрывок и выясним, какую физическую величину имел в виду автор, чему равно ее числовое значение и в каких единицах была измерена эта величина. Нетрудно установить, что речь идет о физической величине *путь*; *числовое значение* этой физической величины — *триста*; *единицей пути* служит *один шаг*.



**Рис. 4.1.** Для характеристики свойства тел занимать ту или иную часть пространства используют физическую величину объем (*а*); для характеристики движения тел — скорость движения (*б*)



Очевидно, что в большинстве случаев выбор шага как единицы пути не может быть удачным, ведь длина шага у всех разная (рис. 4.2). Таким образом, становится понятным, почему люди с древних времен начали договариваться о том, чтобы измерять одну и ту же физическую величину одинаковыми единицами.

Сейчас в большинстве стран мира действует введенная в 1960 г. Международная система единиц, которую называют *Система Интернациональная (СИ)* (рис. 4.3).

В СИ единицей длины является метр (м), единицей времени — секунда (с), объем измеряется в метрах кубических ( $\text{м}^3$ ), скорость движения — в метрах в секунду (м/с). О других единицах СИ вы узнаете позже.

При записи значения физической величины указывают символ, которым она обозначается, числовое значение физической величины и ее единицу. Например, запись  $v=5$  м/с означает, что скорость движения некоего тела составляет 5 метров в секунду.

3

### Выясняем, чем кратные единицы отличаются от дольных

Для удобства записи больших и малых значений физических величин используют кратные и дольные единицы.

**Кратные единицы** — это единицы, которые больше основных единиц в 10, 100, 1000 и более раз.

**Дольные единицы** — это единицы, которые меньше основных единиц в 10, 100, 1000 и более раз.

Названия кратных и дольных единиц включают в себя специальные префиксы. Например, километр (1000 м) — кратная единица длины; сантиметр (0,01 м) — дольная единица длины.

В таблице на с. 27 приведены наиболее часто употребляемые префиксы.



**Рис. 4.2.** Если бабушка и внук будут измерять расстояние в шагах, то понятно, что они получат разные результаты



**Рис. 4.3.** Основные единицы Международной системы единиц (СИ)

## Префиксы для образования названий кратных и дольных единиц

Префиксы	Значение в переводе с греческого или латинского языка	Символ	Множитель	
тера-	чудовище	Т	1 000 000 000 000	$10^{12}$
гига-	гигантский	Г	1 000 000 000	$10^9$
мега-	большой	М	1 000 000	$10^6$
кило-	тысяча	к	1000	$10^3$
гекто-	сто	г	100	$10^2$
деци-	десять	д	0,1	$10^{-1}$
санти-	сто	с	0,01	$10^{-2}$
милли-	тысяча	м	0,001	$10^{-3}$
микро-	маленький	мк	0,000 001	$10^{-6}$
нано-	карлик	н	0,000 000 001	$10^{-9}$

#### 4 Выясняем, чем отличаются прямые и косвенные измерения

Значения физических величин получают путем *измерений*.

Вспомните пример измерения, приведенный в п. 2 этого параграфа. Автор, описывая путешествие отряда по берегу реки, в качестве единицы пути выбрал шаг. Чтобы выразить числовое значение (триста) пути в шагах, ему необходимо было сравнить пройденное расстояние с длиной шага.

**Измерить физическую величину** означает сравнить ее с однородной величиной, взятой за единицу.

Существует два вида измерений: *прямые* и *косвенные* измерения.

При *прямом измерении* искомое значение физической величины получают сразу — по показаниям измерительного прибора (рис. 4.4, 4.5).



Рис. 4.4. «У меня снова повысилось давление», — жалуется женщина после измерения кровяного давления



Рис. 4.5. До отправления поезда осталось 2 минуты — этот интервал времени вы с волнением определяете с помощью часов

При *косвенном измерении* искомое значение физической величины определяют с помощью формулы, подставив в нее значения других физических величин, полученных в ходе прямых измерений. Так, чтобы определить площадь  $S$  прямоугольника, сначала с помощью линейки измеряют длину  $l$  и ширину  $d$  прямоугольника (прямые измерения), а потом вычисляют его площадь по формуле  $S = l \cdot d$ .

**?** Косвенные измерения каких величин вы выполняли на уроках математики?

## **5** Знакомимся с измерительными приборами

Для *установления значений* физических величин в ходе прямых измерений используют *измерительные приборы* (рис. 4.6).

Сейчас в науке, технике, быту применяют как *электронные цифровые измерительные приборы*, у которых значение измеряемой величины высвечивается на экране, так и измерительные приборы, при пользовании которыми значение измеряемой величины определяют *по шкале*. Измерительный прибор обычно содержит информацию о единицах, в которых поданы значения измеряемой этим прибором величины.

По шкале можно установить две самые важные характеристики измерительного прибора: *цену деления шкалы прибора* и *пределы измерения\**.

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

*Чтобы определить цену деления шкалы измерительного прибора, необходимо разность двух любых ближайших значений величины, приведенных на шкале, разделить на количество делений между ними.*



**Рис. 4.6.** Измерительные приборы: а — со шкалой; б — электронные цифровые

\* Пределы измерения электронных цифровых приборов определяют по его паспорту. Существуют приборы, пределы измерения которых устанавливают специальным переключателем.



**Рис. 4.7.** Медицинский термометр

Определим цену деления шкалы медицинского термометра (рис. 4.7):

1) выберем два любых значения температуры, которые обозначены на шкале и стоят рядом, например  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и найдем их разность:  $40\text{ }^{\circ}\text{C} - 39\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

2) определим количество делений между метками, рядом с которыми указаны данные значения, — 10 делений;

3) полученную разность разделим на количество делений:  $\frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{10} = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Итак, цена деления шкалы данного термометра составляет  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$C_{\text{терм}} = \frac{40\text{ }^{\circ}\text{C} - 39\text{ }^{\circ}\text{C}}{10} = \frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{10} = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

**Пределы измерения прибора** — это наибольшее и наименьшее значения физической величины, которые можно измерить этим прибором.

Так, верхний предел измерений медицинского термометра на рис. 4.7 равен  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , нижний предел составляет  $34,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Подводим итоги

Физическая величина — это количественно выраженная характеристика тела или физического явления. Измерить физическую величину — значит сравнить ее с однородной величиной, взятой за единицу.

Записывая значение физической величины, следует привести символ, которым она обозначается, числовое значение физической величины и ее единицу. Для удобства записи больших и малых значений физических величин используют кратные и дольные единицы — их названия содержат специальные префиксы.

Цена деления шкалы измерительного прибора — это значение наименьшего деления шкалы этого прибора. Пределы измерения прибора — это наибольшее и наименьшее значения физической величины, которые можно измерить данным прибором.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение физической величины.
2. Приведите примеры физических величин. Какие свойства тел или какие признаки физических явлений они характеризуют?
3. Какими символами обозначают объем; скорость движения; время движения тела?
4. Что значит измерить физическую величину?
5. Приведите примеры префиксов, используемых в названиях дольных единиц; кратных единиц.
6. Приведите примеры измерительных приборов.
7. Какие характеристики прибора можно выявить с помощью его шкалы?
8. Что такое цена деления шкалы прибора?



### Упражнение № 4

1. Представьте в метрах значения физических величин: 145 мм; 1,5 км; 2 км 32 м.
2. Назовите физические величины, приборы для измерения которых изображены на рис. 1–3. Укажите символы для обозначения этих величин; их единицы в СИ.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

3. Определите пределы измерения прибора и цену деления его шкалы (рис. 4).



Рис. 4

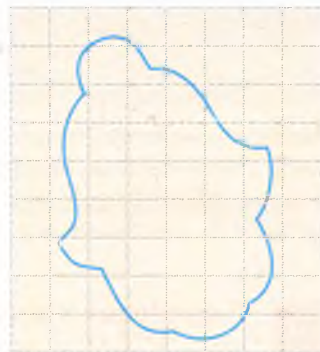
4. Запишите, используя кратные или дольные единицы: 0,000 007 5 м — диаметр красных кровяных телец; 5 900 000 000 000 м — радиус орбиты карликовой планеты Плутона; 6 400 000 м — радиус Земли.
5. Баскетбольная площадка, на которой проходят официальные соревнования, должна иметь длину 28 м и ширину 15 м. Определите площадь баскетбольной площадки. Ответ запишите также в  $\text{дм}^2$  и  $\text{см}^2$ .
6. Вспомните определение физической величины и докажите, что длина — это физическая величина.
7. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и подготовьте сообщение об измерительных приборах, с которыми вы имеете дело в повседневной жизни.



### Экспериментальные задания

1. Найдите у себя дома 2–3 измерительных прибора, имеющих шкалу. Определите пределы измерения и цену деления шкалы каждого прибора.

2. Воспользовавшись приведенной ниже информацией, выясните площадь вашей ладони. Площадь фигуры, имеющей неправильную геометрическую форму, можно определить по контуру этой фигуры, нарисованному на бумаге в клетку, или с помощью палетки — прозрачной пластинки с нанесенной на ней сеткой квадратов определенной площади. В таких случаях площадь  $S$  фигуры вычисляю по формуле:



$$S = \left( n + \frac{1}{2}k \right) S_0,$$

где  $n$  — количество целых квадратов;  $k$  — количество нецелых квадратов;  $S_0$  — площадь одного квадрата. Таким образом, площадь фигуры на рисунке равна:

$$S = \left( 20 + \frac{1}{2} \cdot 22 \right) \cdot 25 \text{ мм}^2 = 775 \text{ мм}^2.$$

3. В свое время древнегреческий математик, физик и механик Архимед предложил способ измерения площади фигуры, имеющей неправильную геометрическую форму, с помощью точных весов. Попробуйте воспроизвести этот способ и объяснить его.

### Физика и техника в Украине



**Национальная академия наук Украины** (НАНУ) — высшая государственная научная организация Украины. Основана в 1918 г. правительством гетмана П. П. Скоропадского. Первым президентом Украинской академии наук (такое название носила НАНУ в то время) был выдающийся украинский ученый *Владимир Иванович Вернадский*.

НАНУ занимается исследованиями в области естественных, гуманитарных, общественных и технических наук.

Крупнейшие достижения Академии: осуществление искусственной ядерной реакции превращения ядер Лития в ядра Гелия; создание ускорителя заряженных частиц, радиолокатора нового типа; внедрение технологии автоматической сварки; создание новых лекарственных препаратов и методов лечения; разработка первой в континентальной Европе электронной вычислительной машины (ЭВМ). В разное время в НАНУ работали многие выдающиеся ученые, сформировалось множество научных школ. Так, во всем мире известны украинские школы электросварки *Е. О. Патона* и *Б. Е. Патона*, кибернетики *С. А. Лебедева* и *В. М. Глушкова*, теоретической физики *Л. Д. Ландау*, нелинейной механики и статистической физики *Н. Н. Боголюбова* и др.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**Тема.** Определение цены деления шкалы измерительного прибора.

**Цель:** определить пределы измерения и цену деления шкалы каждого из предложенных измерительных приборов.

**Оборудование:** линейка; термометр; другие измерительные приборы.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### II Подготовка к эксперименту

Убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы.

- 1) Что называют измерительным прибором?
- 2) Как определить пределы измерения прибора?
- 3) Как определить цену деления шкалы прибора?
- 4) Какие правила безопасности следует соблюдать, работая с термометром?

#### ▶ Эксперимент

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац).*

1. Рассмотрите шкалы имеющихся у вас измерительных приборов.
2. Заполните первые пять столбцов таблицы.

Название прибора	Физическая величина, измеряемая прибором	Единица измеряемой величины	Шкала прибора			Пределы измерения прибора	
			Числа, которыми обозначены две соседние метки	Количество делений между соседними метками, обозначенными числами	Цена деления	нижний	верхний

#### ▶▶ Обработка результатов эксперимента

Определите цену деления шкалы и пределы измерения каждого из исследуемых приборов и закончите заполнение таблицы.

#### □ Анализ эксперимента и его результатов

Сформулируйте вывод, в котором укажите: 1) что именно вы определяли; 2) какие результаты получили; 3) для чего могут понадобиться умения, приобретенные в ходе выполнения работы.

#### + Творческое задание

Изготовьте мерную ленту с ценой деления шкалы 5 мм.

## § 5. ПОГРЕШНОСТИ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Определите площадь поверхности тетрадного листа с помощью линейки. Затем предложите вашему соседу или соседке сделать то же самое с помощью той же линейки. Сравните полученные результаты. Если результаты окажутся разными, то чей результат следует считать более точным? Можно ли считать результаты измерений абсолютно точными? Попробуем ответить на эти вопросы.

### 1 Проводим измерения

Вы много раз проводили измерение длины. Проверим, правильно ли вы это делали. Измерим, например, длину карандаша с помощью линейки. Для этого:

- приложим линейку к карандашу так, чтобы ноль на шкале линейки совпадал с одним концом карандаша (рис. 5.1);
- определим, напротив какой отметки шкалы линейки расположен второй конец карандаша.

Видим, что второй конец карандаша расположен возле отметки 12 см, то есть можно сказать, что длина карандаша составляет приблизительно 12 см. Но конец карандаша выступает за отметку 12 см примерно на 2 миллиметра, следовательно, более точная длина карандаша — 12,2 см, или 122 мм.



Рис. 5.1. Измерение длины карандаша линейкой

### 2 Рассуждаем о точности измерений

Измеряя длину карандаша, мы получили два результата: 12 см и 12,2 см. Какой же из них правильный? Вообще правильными являются оба результата, а вот точность измерений была разной: в первом случае измерение было выполнено с точностью до 1 см, а во втором — с точностью до 1 мм (0,1 см). Для данного эксперимента измерение с точностью до 1 мм — вполне достаточно.

А вот если нужен более точный результат, следует использовать измерительные приборы, имеющие меньшую цену деления шкалы — 0,5 мм или даже 0,1 мм. Но и тогда мы не измерим длину карандаша абсолютно точно. Причин для этого много: это и несовершенство конструкции прибора, и несовершенство метода измерения (например, начало карандаша невозможно абсолютно точно совместить с нулевым делением шкалы линейки), и влияние внешних факторов.



Итак, измерения всегда осуществляются с *погрешностью*. Чтобы уменьшить погрешность, одни и те же измерения выполняют несколько раз, а потом вычисляют среднее значение результатов измерений (определяют их среднее арифметическое).

**\* 3** Определяем абсолютную и относительную погрешности результата измерения

Различают *абсолютную* и *относительную* погрешности.

**Абсолютная погрешность результата измерения** — это отклонение результата измерения от истинного значения физической величины.

Абсолютная погрешность результата измерения показывает, на сколько максимально может ошибиться исследователь, правильно измеряя физическую величину.

Определить абсолютную погрешность результата измерения непросто. Необходим анализ метода измерения, качества измерительного прибора, условий опыта, требуется знание высшей математики и т. д. Поэтому пока примем следующее: *при одном прямом измерении абсолютная погрешность будет равна цене деления шкалы измерительного прибора*.

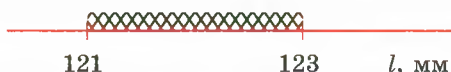
Для записи значения абсолютной погрешности используют символ  $\Delta$  (дельта), рядом с которым записывают символ измеряемой физической величины. Например, запись  $\Delta V = 2 \text{ см}^3$  означает, что абсолютная погрешность результата измерения объема составляет  $2 \text{ см}^3$ .

Вернемся к измерению длины  $l$  карандаша (см. рис. 5.1).

1. Цена деления шкалы линейки — 1 мм. Значит, будем считать, что абсолютная погрешность результата измерения составляет 1 мм ( $\Delta l = 1 \text{ мм}$ ).
2. Длина  $l_0$  карандаша, измеренная линейкой, равна 122 мм ( $l_0 = 122 \text{ мм}$ ).
3. Результат измерения в данном случае следует записать так:  $l = (122 \pm 1) \text{ мм}$ . Эта запись означает, что истинное значение длины карандаша находится в интервале от 121 мм ( $122 \text{ мм} - 1 \text{ мм}$ ) до 123 мм ( $122 \text{ мм} + 1 \text{ мм}$ ) (рис. 5.2).

Измерим теперь толщину  $d$  карандаша (рис. 5.3):  $d_0 = 7 \text{ мм}$ . Это почти в 18 раз меньше длины карандаша. При этом абсолютная погрешность та же — 1 мм ( $\Delta d = 1 \text{ мм}$ ). Но это не значит, что длину и толщину карандаша мы измерили с одинаковой точностью.

Насколько точно проведено измерение, более наглядно показывает *относительная погрешность*.



**Рис. 5.2.** Абсолютная погрешность измерения определяет интервал, в котором находится истинное значение измеряемой величины



**Рис. 5.3.** Измерение толщины карандаша


**Относительная погрешность результата измерения** равна отношению абсолютной погрешности к измеренному значению физической величины.

Относительную погрешность обозначают символом  $\varepsilon$  (эпсилон) и чаще всего выражают в процентах.

Найдем относительные погрешности результатов измерения:

$$\text{длины карандаша: } \varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% = \frac{1 \text{ мм}}{122 \text{ мм}} \cdot 100\% \approx 0,8\% ;$$

$$\text{толщины карандаша: } \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot 100\% = \frac{1 \text{ мм}}{7 \text{ мм}} \cdot 100\% \approx 14,3\% .$$

Относительная погрешность измерения длины меньше относительной погрешности измерения толщины почти в 18 раз. Это означает, что длина карандаша была измерена точнее, чем его толщина, почти в 18 раз. 

#### 4 Рассуждаем о необходимой точности измерения

Предположим, что нам нужно измерить длину не карандаша, а комнаты. Понятно, что в таком случае нет необходимости учитывать миллиметры (рис. 5.4).

Точно так же, если портной, раскрыв пиджак, ошибется на 1 мм, мы этого даже не заметим. А вот если, вдевая нитку в ушко иглы, он каждый раз будет ошибаться на 1 мм, то вряд ли пиджак вообще будет сшит.

Таким образом, можно сделать вывод: *необходимая точность измерений во время эксперимента определяется целью этого эксперимента.*



Рис. 5.4. Измерение длины комнаты с точностью до 1 мм — пример излишней точности



#### Подводим итоги

Измерение невозможно провести с абсолютной точностью. Погрешности в ходе измерения физических величин связаны как с процессом измерения, так и с выбором прибора для измерения. Чтобы уменьшить погрешность, одни и те же измерения выполняют несколько раз, а потом вычисляют среднее значение результатов измерения.



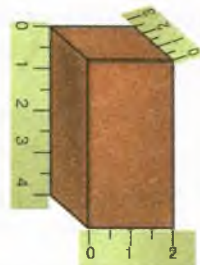
#### Контрольные вопросы

1. Почему невозможно получить абсолютно точное значение измеряемой величины?
2. Как повысить точность измерения? \*
3. Какие виды погрешностей результата измерения вы знаете? \*
4. Как определить относительную погрешность при прямых измерениях? \*
5. Какая погрешность — абсолютная или относительная — нагляднее показывает, насколько точно проведено измерение? Обоснуйте свой ответ.
6. Приведите примеры необходимой и излишней точности измерений.



### Упражнение № 5

1. Диаметр окружности измерили линейкой с ценой деления шкалы 0,1 см и рулеткой с ценой деления шкалы 0,5 см. В каком случае получен более точный результат?
2. С помощью линейки (см. рисунок) измерили в сантиметрах длину  $l$ , ширину  $d$  и высоту  $h$  бруска.
  - 1) Запишите результаты измерений.
  - \* 2) Определите относительную погрешность каждого измерения.
  - 3) Результат какого измерения наиболее точный?
3. Во время спокойных вдоха и выдоха через легкие взрослого человека проходит приблизительно 0,5 дм<sup>3</sup> воздуха. Сколько раз человеку нужно вдохнуть и выдохнуть, чтобы через его легкие прошел воздух, объем которого равен 5500 см<sup>3</sup>? (Примерно столько составляет объем футбольного мяча.)
4. «Любимое» число математиков — число «пи». Напомним, что это число равно отношению длины окружности к ее диаметру и выражается бесконечной десятичной дробью. Приведем значение числа «пи» с точностью до девятого знака после запятой:  $\pi = 3,141\,592\,653$ . Округлите значение числа «пи»: а) до целых; б) десятых; в) сотых; г) тысячных; д) десятитысячных.



### Экспериментальное задание

Возьмите тетрадь в линию и определите расстояние между соседними линиями двумя способами.

*Способ 1.* Измерьте расстояние между соседними линиями.

*Способ 2.* Измерьте расстояние между самой верхней и самой нижней линиями. Полученный результат разделите на количество промежутков между данными линиями.

Какой результат измерения, на ваш взгляд, точнее?

### Физика и техника в Украине

**i** Национальный научный центр «Институт метрологии» (Харьков)

*Метрология* — это наука об измерениях: как и с помощью каких приборов их проводить, как достичь необходимой точности. Без метрологии сегодня невозможны научные исследования и вообще научный прогресс. Материальной базой всех современных измерений являются соответствующие *эталоны* — они есть в каждом развитом государстве. Большинство украинских государственных эталонов (около 50 единиц) созданы и хранятся в Национальном научном центре «Институт метрологии» в Харькове. В частности, это эталоны длины, массы, температуры, времени, уровня радиации и др. Так, правильность сигналов точного времени, которые транслируют радиостанции, проверяют именно в Институте метрологии.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

**Тема.** Измерение объемов твердых тел, жидкостей и сыпучих материалов.

**Цель:** измерить объемы твердых тел (правильной и неправильной геометрической формы), жидкостей и сыпучих материалов.

**Оборудование:** мерный сосуд; линейка; три пластиковых стаканчика: с водой, пшеном, песком; твердое тело неправильной геометрической формы; твердое тело, имеющее форму прямоугольного параллелепипеда; нитки.

### Теоретические сведения

1. Объем — это физическая величина, характеризующая свойство тел занимать определенную часть пространства. Единица объема в Международной системе единиц (СИ) — кубический метр ( $\text{м}^3$ ). Существуют кратные и дольные единицы объема:  $1 \text{ дм}^3 = 0,1 \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,001 \text{ м}^3$ ;  $1 \text{ см}^3 = 0,001 \text{ дм}^3 = 0,000\,001 \text{ м}^3$ . внесистемной единицей объема является литр (л):  $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$ .

2. Объемы твердых тел, жидкостей и сыпучих материалов можно определить путем прямых измерений с помощью мерного сосуда (см., например, рис. 1).

Для измерения объема жидкости или сыпучего материала с помощью мерного сосуда необходимо:

а) перелить жидкость или высыпать сыпучий материал в мерный сосуд: они приобретут форму сосуда, а их свободная поверхность расположится на определенной высоте (необходимо добиться, чтобы свободная поверхность жидкости или сыпучего материала была горизонтальной);

б) определить, напротив какой отметки шкалы мерного сосуда расположена свободная поверхность жидкости (рис. 2) или сыпучего материала;

в) зная цену деления шкалы мерного сосуда, определить объем жидкости или сыпучего материала.

Для измерения объема твердого тела с помощью мерного сосуда необходимо:

а) налить в мерный сосуд воду объемом  $V_1$ , причем воды следует налить столько, чтобы можно было погрузить в нее исследуемое тело и вода не перелилась бы через край сосуда;

б) погрузить тело в мерный сосуд с водой и измерить общий объем  $V_2$  воды вместе с телом;

в) вычислить объем  $V$  вытесненной телом воды как разность результатов измерений объема воды после и до погружения тела:  $V = V_2 - V_1$ .

Объем  $V$  вытесненной телом воды равен объему тела\*.



Рис. 1



Рис. 2

\* Данный метод измерения объема твердых тел предложил Архимед в III в. до н. э.

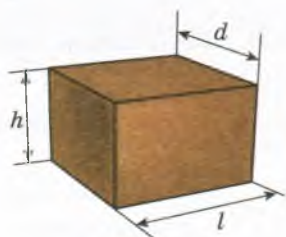


Рис. 3

3. Если тело имеет правильную геометрическую форму, его объем можно определить также путем косвенных измерений: измерить линейные размеры тела с помощью линейки и вычислить объем тела по соответствующей математической формуле. Например, объем  $V$  тела, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 3), вычисляют по формуле:  $V = ldh$ , где  $l$  — длина;  $d$  — ширина;  $h$  — высота тела.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### II Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем начать измерения:
  - а) внимательно прочитайте теоретические сведения, приведенные выше;
  - б) вспомните, как определить цену деления шкалы прибора.
2. Определите и запишите:
  - а) цену деления шкалы линейки;
  - б) цену деления шкалы мерного сосуда.
3. На каждом твердом теле закрепите нитку.

#### ▶ Эксперимент

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац). Результаты измерений сразу заносите в таблицы 1 и 2.*

Таблица 1

Номер опыта	Материал	Объем жидкости или сыпучего материала $V_{\text{изм}}, \text{см}^3$
1	Песок	
2	Пшено	
3	Вода	

Таблица 2

Тело	Прямые измерения			Косвенные измерения			
	Начальный объем воды $V_1, \text{см}^3$	Объем воды и тела $V_2, \text{см}^3$	Объем тела $V = V_2 - V_1, \text{см}^3$	Длина тела $l, \text{см}$	Ширина тела $d, \text{см}$	Высота тела $h, \text{см}$	Объем тела $V = ldh, \text{см}^3$
Тело 1				—	—	—	—
Тело 2							

1. Измерьте объемы сыпучих материалов с помощью мерного сосуда.
2. Измерьте объем жидкости с помощью мерного сосуда.
3. Измерьте объем твердого тела неправильной геометрической формы (тело 1) путем прямых измерений (с помощью мерного сосуда).
4. Измерьте объем твердого тела правильной геометрической формы (тело 2) путем прямых измерений.
5. Определите объем твердого тела правильной геометрической формы (тело 2) путем косвенных измерений.

### □ Анализ эксперимента и его результатов

1. Проанализируйте разные способы измерения объема твердого тела, укажите:
  - а) случаи, когда целесообразно использовать тот или иной вид измерения объема твердого тела;
  - б) факторы, которые повлияли на точность полученных вами результатов.
2. Сформулируйте вывод, в котором укажите: 1) что именно вы научились измерять; 2) для чего могут быть нужны умения, приобретенные во время выполнения работы.

### + Творческое задание

Предложите способ измерения объема тела неправильной формы в случае, если:

- 1) тело не помещается в имеющийся мерный сосуд;
- 2) у вас несколько одинаковых тел и объем каждого тела меньше цены деления шкалы имеющегося мерного сосуда.

### \* Задание «со звездочкой»

Оцените абсолютную и относительную погрешности результатов измерений объемов воды и сыпучих материалов. Представьте результат каждого измерения в виде:  $V = V_{\text{изм}} \pm \Delta V$ .

## i ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

**Тема.** Измерение размеров малых тел.

**Цель:** определить методом рядов диаметр горошины, диаметр пшеничного зернышка, толщину нити.

**Оборудование:** линейка; небольшие емкости с пшеном и горохом; две зубочистки; стержень для ручки; нить (№ 10) длиной около 50 см.

## Описание метода измерения

Метод рядов для измерения размеров тел применяют в случаях, когда цена деления шкалы прибора не позволяет провести измерение с достаточной точностью. Например, когда цена деления шкалы прибора больше размера измеряемого тела или сравнима с ним. Заметим, что метод рядов позволяет определить только среднее значение размера тела.

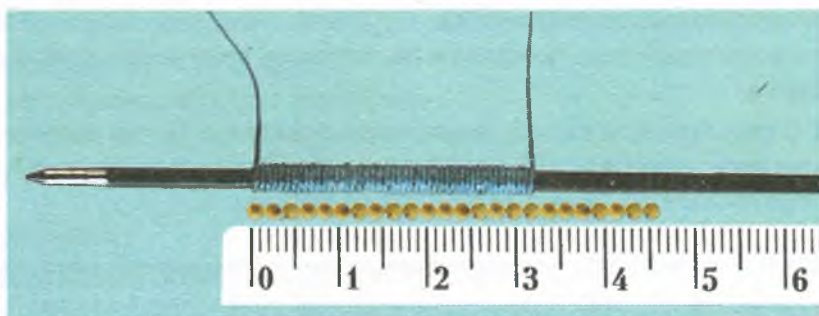
Для определения размера  $d$  малого тела методом рядов необходимо:

— создать ряд, — например, выложить зернышки вплотную друг к другу или намотать нить много раз на стержень для ручки так, чтобы витки были расположены в один ряд и вплотную друг к другу (см. рисунок);

— измерить длину  $l$  ряда;

— определить количество  $n$  тел или витков в ряду;

— найти отношение:  $d = \frac{l}{n}$ .



## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

### II Подготовка к эксперименту

- Внимательно прочитайте описание метода измерения. Вспомните:
  - как определить цену деления шкалы измерительного прибора;
  - как правильно пользоваться линейкой и снимать ее показания.
- Определите и запишите цену деления шкалы линейки.

### ▶ Эксперимент

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац).*

Результаты измерений сразу заносите в таблицу. Результаты измерений диаметров и толщины округлите до десятых. Для выравнивания рядов воспользуйтесь зубочисткой.

- Определите методом рядов среднее значение: диаметра горошины; диаметра пшеничного зернышка.
- Определите методом рядов среднюю толщину нити.

Номер опыта	Тело	Длина $l$ ряда, мм	Количество $n$ тел (витков) в ряде	Диаметр (толщина) $d_{\text{изм}}$ , мм
1	Горошина			
2	Пшениное зернышко			
3	Нить			

### □ Анализ эксперимента и его результатов

Проанализируйте эксперимент и его результаты. Сформулируйте вывод, в котором укажите: 1) чему вы научились в ходе выполнения работы; 2) какие результаты получили; 3) как можно повысить точность эксперимента; 4) где вам могут пригодиться умения, полученные в ходе выполнения работы.

### + Творческое задание

Предложите свой метод измерения диаметра горошины. Выполните соответствующий рисунок. Проведите измерение. Проанализируйте преимущества и недостатки метода, использованного в работе, и метода, предложенного вами. В каких случаях, по вашему мнению, удобно применять тот или иной метод.



### Физика и техника в Украине



**Национальный университет «Киево-Могилянская академия»** — известный современный университет Украины. Это учебное заведение считается одним из старейших в Европе (в 2015 г. Киево-Могилянская академия отметила свой 400-летний юбилей).

На протяжении своей истории Киево-Могилянская академия являлась крупным научным и просветительским центром, была средоточием духовной и культурной жизни.

Несколько поколений общественных деятелей, деятелей науки, культуры и просвещения были ее воспитанниками. Среди них — мыслитель, родоначальник украинской классической философии *Григорий Саввич Сковорода* (1722–1794), архитектор *Иван Григорьевич Григорьевич-Барский* (1713–1791), композитор *Артемий Лукьянович Ведель* (1767–1808), поэт *Петр Петрович Гулак-Артемовский* (1790–1865). Среди гетманов Украины было 14 воспитанников академии.

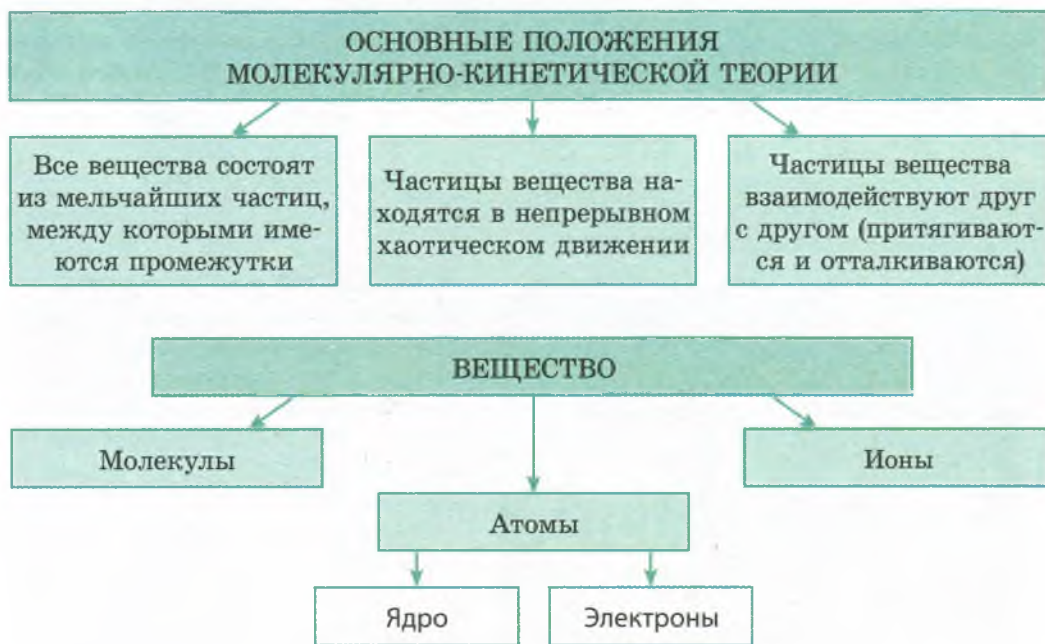


## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 1 «Физика — наука о природе. Познание природы»

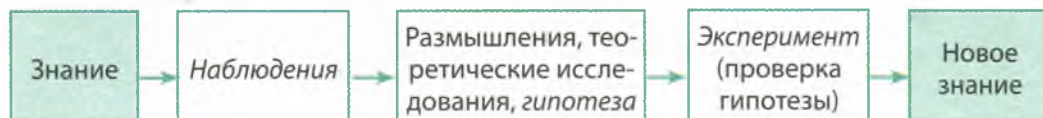
1. В разделе 1 вы узнали, что физика является основной из естественных наук, и получили ответ на вопрос «Что изучает физика?».



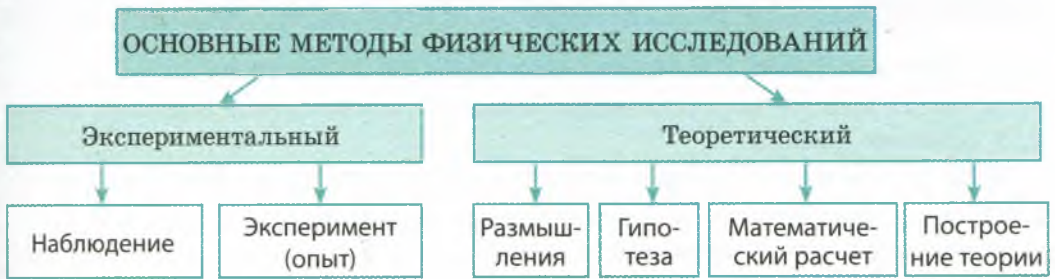
2. Вы выяснили основные положения молекулярно-кинетической теории и узнали, из чего состоит вещество.



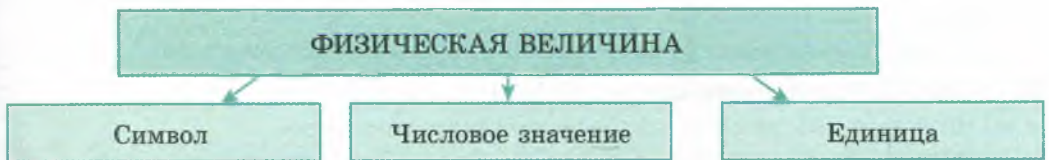
3. Вы проследили последовательность этапов физических исследований:



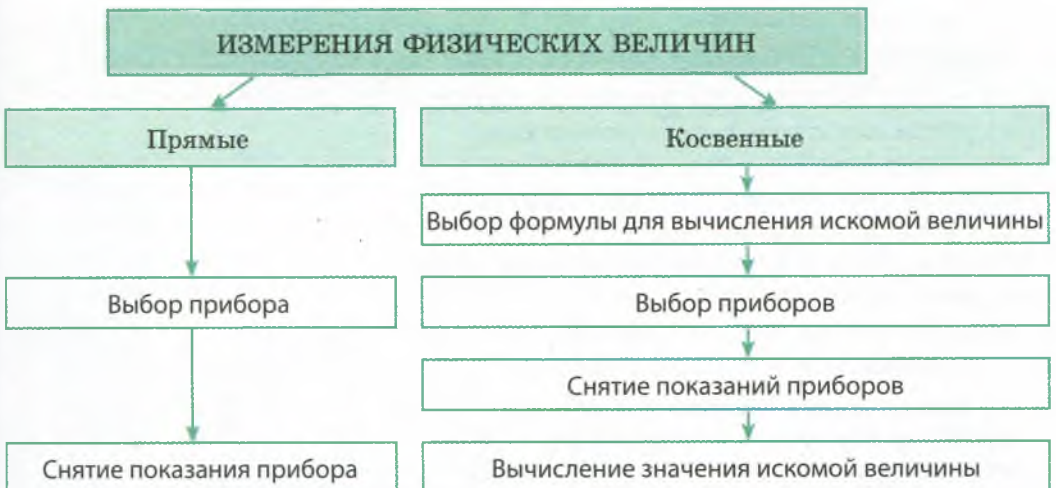
4. Вы ознакомились с основными методами физических исследований.



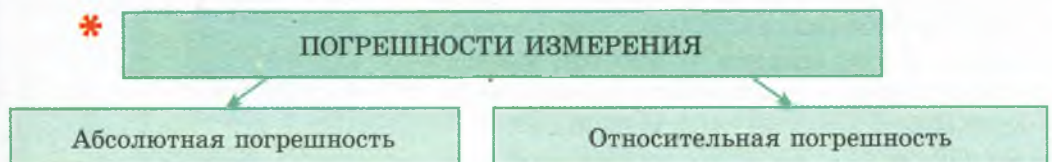
5. Вы расширили свои знания о физических величинах.



6. Вы узнали об измерениях физических величин.



\*



## Задания для самопроверки к разделу 1 «Физика — наука о природе. Познание природы»

В заданиях 1–6, 8, 9 выберите один правильный ответ.

- (1 балл) Кто из перечисленных исследователей сделал большой вклад в развитие физики?  
а) Исаак Ньютон; б) Фернан Магеллан; в) Джеймс Кук; г) Жак-Ив Кусто.
- (1 балл) Примером физического тела может служить:  
а) медь; б) масса; в) метеорит; г) минута.
- (1 балл) Какой префикс следует добавить к основной единице физической величины, чтобы получить единицу, которая меньше основной в 1000 раз?  
а) санти- (с); б) кило- (к); в) милли- (м); г) микро- (мк).
- (1 балл) Какое из приведенных понятий можно считать физическим явлением?  
а) скорость движения; б) нагревание; в) время; г) рассуждение.
- (2 балла) Какое утверждение истинно?  
а) Во время наблюдений всегда выполняют измерения.  
б) Эксперименты проводят в условиях, находящихся под контролем ученого.  
в) Во время экспериментов никогда не выполняют измерений.  
г) Результаты наблюдений являются критерием истинности гипотезы.
- (2 балла) Вследствие диффузии:  
а) кислород из воздуха попадает даже на дно глубокого водоема;  
б) уменьшается длина рельса при его охлаждении;  
в) тает лед;  
г) жидкость собирается в капли.
- (2 балла) Выберите *все* правильные ответы. Молекулы вещества:  
а) всегда находятся в состоянии покоя;  
б) непрерывно и хаотически движутся;  
в) только притягиваются друг к другу;  
г) только отталкиваются друг от друга;  
д) отталкиваются друг от друга и притягиваются друг к другу;  
е) расположены так, что между ними нет промежутков.
- (3 балла) Какое неравенство истинно?  
а)  $520 \text{ см} > 52 \text{ дм}$ ;                      в)  $3300 \text{ г} < 33 \text{ кг}$ ;  
б)  $2000 \text{ мкм} > 20 \text{ мм}$ ;                г)  $3 \text{ с} < 300 \text{ мс}$ .
- (3 балла) Аквариум имеет форму прямоугольного параллелепипеда, длина которого равна 0,5 м, ширина — 300 мм, высота — 42 см. Определите емкость аквариума.  
а)  $0,063 \text{ м}^3$ ;                                в)  $6300 \text{ см}^3$ ;  
б)  $630 \text{ см}^3$ ;                                г)  $6300 \text{ мм}^3$ .

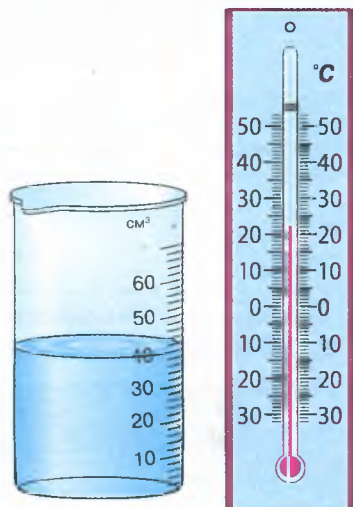


Рис. 1

10. (3 балла) Рассмотрите рис. 1 и заполните таблицу.

Название прибора	Физическая величина, измеряемая прибором	Единица физической величины	Цена деления шкалы прибора	Показание прибора	Пределы измерения	
					верхний	нижний

11. (3 балла) Установите соответствие между каждым словом (1–6) предложения и физическим понятием (А–Ж).

- Алюминиевую (1) проволоку (2) массой (3) двадцать (4) граммов (5) согнули (6).

- А Единица физической величины  
 Б Вещество  
 В Физическая величина  
 Г Физическое тело  
 Д Физическое явление  
 Е Физический закон  
 Ж Числовое значение физической величины

	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
1							
2							
3							
4							
5							
6							

12. (4 балла) Определите диаметр шнура, изображенного на рис. 2.

13. (4 балла) Бруски, один из которых изображен на рис. 3, нужно упаковать в коробку высотой 2,5 см, длиной 14 см и шириной 6 см. Какое *максимальное* количество брусков можно положить в коробку, чтобы ее можно было плотно закрыть? Высота бруска — 0,8 см, ширина — 1,2 см.



Рис. 2

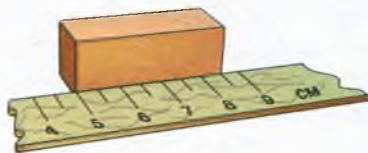


Рис. 3

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, подсчитайте сумму баллов. Эту сумму разделите на три. Надеемся, что вы получили от 7 до 10 баллов. Это хороший результат. А чтобы получить еще более высокий балл, нужно выполнить задание 14.

14. Подтвердите или опровергните утверждение. Обоснуйте свой ответ.

- Физика не заканчивается за дверью школьного кабинета.
- Известно, что  $1 \text{ дм}^3 = 1 \text{ л}$ . Если бы шкалы бензоколонок на автозаправках были проградуированы в кубических метрах, то погрешность измерения объема горючего была бы меньше.
- Альфред Нобель должен был не рассказывать миру о своем изобретении — динамите.



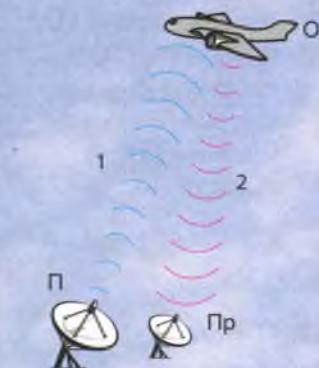
Тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой вы найдете на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение».

# Почему в современном мире трудно потеряться

Всего несколько десятилетий назад слова «радиолокатор», «радар» ассоциировались с военной техникой, слово «гидролокатор», «сонар» — с сейнерами и подводными лодками. А вот аббревиатуры GPS вообще не существовало. В наше время простейшие модели сонаров может приобрести каждый рыбак, радары оснащают не только самолеты, но и небольшие катера, а система GPS позиционируется как лучшее противогонное средство для автомобилей.

## Радиолокатор / радар

В начале XX в. было обнаружено, что радиоволны отражаются от металлических предметов. Это открытие дало возможность предложить принцип радиолокации — обнаружения, распознавания и определения координат различных предметов с помощью радиоволн. Если прибор фиксирует факт отражения радиоволны, это означает, что он обнаружил объект (например, самолет). По скорости распространения радиоволны (300 000 км/с), интервалу времени между моментом излучения и моментом приема отраженного сигнала можно определить расстояние до объекта (его координаты). Наконец, по характеру отраженного сигнала можно распознать, от какого объекта (самолета, айсберга, скалы) отразилась радиоволна.



Принцип действия радара:  
П — передатчик;  
Пр — приемник;  
О — объект (самолет);  
1 — излучаемая волна;  
2 — отраженная волна.  
В современных радарах передатчик и приемник обычно объединены



Специальные покрытия на поверхности современных военных самолетов снижают уровень отраженного сигнала, и такие самолеты не могут быть обнаружены обычными радары

## Это интересно

РАДАР — от английского слова *radar*, сокращение от *radio detecting and ranging* — радиообнаружение и определение дальности.

СОНАР — от английского слова *sonar*, сокращение от *sound navigation and ranging* — звуковая навигация и определение дальности.

GPS — аббревиатура англ. *global position system* — всемирная система определения местонахождения.

## Это интересно

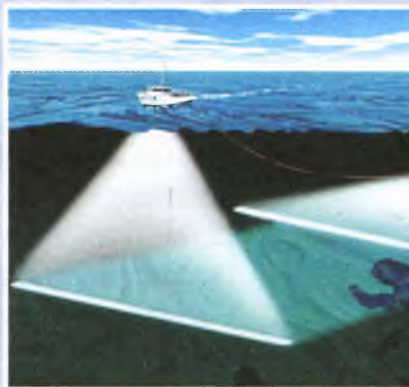
Система GPS сначала была создана по заказу американского правительства. Сегодня эта система применяется во многих сферах: городское и сельское хозяйство, разведка природных ресурсов, археология, навигация, спорт, мониторинг движущихся объектов.

Европейский Союз завершает создание собственной системы навигации — Galileo, которая является аналогом GPS.



## Гидролокатор / сонар

Принцип работы гидролокатора похож на принцип работы радара, только он излучает и фиксирует не радио-, а звуковые волны. Как и в случае с радиоволнами, по скорости распространения звука в воде (1500 м/с) и времени прихода отраженной волны можно определить расстояние до объекта, а по направлению отраженного сигнала — направление, в котором расположен объект. Впервые гидролокатор был применен для обнаружения подводных лодок во время Первой мировой войны (1914–1918), со временем его стали применять для исследования рельефа дна морей и океанов, обнаружения косяков рыбы и т. д.



## GPS

GPS создали для того, чтобы любой пользователь мог определить свои координаты на земной поверхности с точностью до нескольких десятков метров. Сейчас эта система не только следит за правильным курсом судов, но и помогает обычным туристам не заблудиться в незнакомом городе.

Система GPS состоит из множества спутников, летающих на высоте примерно 20 000 км над Землей, и наземных систем. Спутники постоянно поддерживают связь с наземными системами и благодаря этому точно «знают» свое положение относительно Земли. Каждый пользователь GPS-навигатора в любой момент может определить свое местонахождение: устройство получает сигналы от трех-четырех

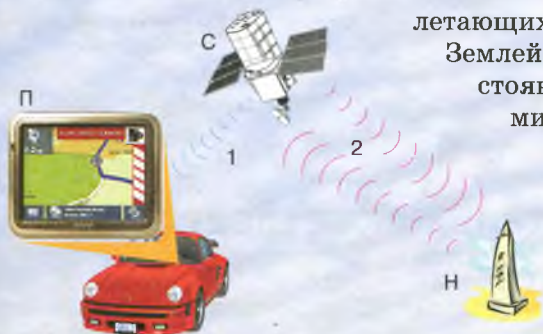


Схема работы системы GPS: С — спутник; Н — наземные системы; П — пользователь прибора GPS; 1 — радиосигнал к пользователю; 2 — радиобмен с наземными системами

разных спутников одновременно и обрабатывает полученные данные с помощью встроенного компьютера.

## Темы рефератов и сообщений

1. Технические изобретения, изменившие жизнь человечества.
2. Современная физика как доказательство мудрости наших предков.
3. История создания первых эталонов.
4. Какие эталоны имеет Украина и где они хранятся.
5. Эволюция измерительных приборов.
6. Какие они — мельчайшие объекты природы.
7. Древние единицы длины и времени.
8. Как зарождалось учение об атомах.
9. Первые попытки и современные методы измерения размеров молекул.
10. Что могут нанотехнологии.
11. Диффузия вокруг нас.
12. Метеориты, угрожающие существованию человечества.
13. Микро-, макро- и мегамиры.
14. 10 интересных фактов из жизни выдающихся ученых.
15. История одного открытия.
16. Архимед — великий древнегреческий математик, физик и инженер.
17. Аристотель — выдающийся ученый древности.
18. Достижения и трагедии великого итальянского физика Галилео Галилея.
19. Гении физической науки XX века.
20. Вклад украинских ученых в развитие современной техники.
21. Самая престижная международная премия по физике и ее лауреаты.

## Темы экспериментальных исследований

1. Наблюдение и исследование процесса диффузии.
2. Измерение линейных размеров тел с помощью разных приборов. Оценка погрешности измерения.
3. Измерение площади поверхности тел разными методами.

# РАЗДЕЛ 2

## МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Вы знаете, как найти путь, пройденный телом, а узнаете, как вычислить перемещение тела
- Вы представляете, что такое точка, а узнаете о материальной точке
- Вы можете описать движение тела, наблюдая за ним, а сможете рассказать, как двигалось тело, изучив график его движения
- Вы знаете, что самолет заправляют во время стоянки, а узнаете, как это можно сделать в воздухе, во время полета
- Вы знаете, что во многих часах используют маятник, а узнаете о свойствах маятника, благодаря которым такое использование стало возможным





## § 6. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ. СИСТЕМА ОТСЧЕТА. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Вспомните: вы сидите в вагоне поезда и смотрите на поезд, стоящий рядом. Вдруг вам показалось, что ваш поезд тронулся с места, ведь за окном начали проплывать вагоны соседнего поезда. И тут вы смотрите в окно напротив и... понимаете, что ваш поезд по-прежнему стоит на перроне, а движется поезд, который стоял рядом. А если бы окна напротив не было, смогли бы вы определить, какой поезд тронулся — ваш или соседний?



### 1 Знакомимся с механическим движением

Все в мире находится в движении (рис. 6.1): миллиарды лет, которые существует Вселенная, разлетаются в разные стороны галактики; Земля вращается вокруг Солнца, делая один оборот за год; за несколько часов самолет перелетает из Киева в Мадрид; в капле воды множество микробов ежесекундно передвигаются с места на место; все время движутся молекулы.

Несмотря на разнообразие примеров движения, у них есть общее: во-первых, *все движущиеся тела изменяют свое положение в пространстве относительно других тел*; во-вторых, *изменение положения тел происходит с течением времени*.

Простейшей разновидностью движения является *механическое движение*.

**Механическое движение** — это изменение со временем положения тела или частей тела в пространстве относительно других тел.

### 2 Даем определение системы отсчета

Когда тело движется, его положение в пространстве изменяется. Для определения положения тела в пространстве используют *систему координат*, которую связывают с *телом отсчета*.

**Тело отсчета** — это тело, относительно которого рассматривают положение движущегося тела.

Выбор тела отсчета является произвольным. За тело отсчета можно взять любое тело исходя из соображений удобства. Это может

**Рис. 6.1.** Все в мире движется: и огромные галактики, и окружающие нас тела, и микроскопические организмы

быть как вагон поезда, так и платформа вокзала, как дерево на обочине дороги, так и мчащийся автомобиль. Телом отсчета могут быть и планета Земля, и Солнце, и далекая галактика.

**7** Какое тело, по вашему мнению, целесообразно принять за тело отсчета, исследуя ваше движение на перемене; на уроке физкультуры; во время путешествия?

После того как тело отсчета выбрано, с ним связывают *систему координат*, которую задают с помощью одной, двух или трех *координатных осей*. Вдоль осей откладывают расстояния в выбранном масштабе, например в километрах или метрах (рис. 6.2, 6.3).

Изменение положения тела происходит не мгновенно, а в течение некоторого времени, поэтому для исследования механического движения необходим *прибор для отсчета времени* — часы.

Тело отсчета, связанная с ним система координат и часы образуют **систему отсчета**.

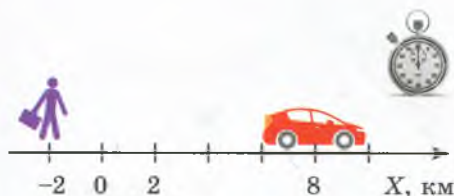
### 3 Выясняем, когда тело можно считать материальной точкой

Обычно во время движения тела каждая его точка движется по-разному. На практике исследовать движение всех точек тела довольно сложно и, как правило, нет необходимости. Описывая движение тела, размеры которого намного меньше, чем расстояния, которые оно преодолевает, тело заменяют физической моделью — *материальной точкой*. Материальная точка не имеет размеров, а ее масса равна массе данного тела.

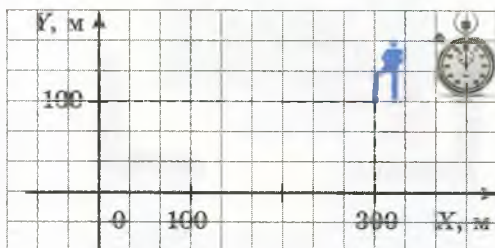
**Материальная точка** — это физическая модель тела, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Одно и то же тело в условиях одной задачи можно считать материальной точкой, а в условиях другой — нельзя.

Представьте автомобиль, который движется по трассе из Одессы в Киев, и этот же автомобиль, когда он паркуется на автостоянке. В первом случае, исследуя движение автомобиля, его размерами можно пренебречь.



**Рис. 6.2.** Чтобы выяснить положение пешехода и автомобиля на прямолинейном участке дороги в данный момент времени, достаточно одной координаты:  $x_{п} = -2$  км;  $x_{а} = 8$  км



**Рис. 6.3.** Чтобы выяснить положение футболиста на поле в данный момент времени, нужно знать две координаты:  $x = 300$  м;  $y = 100$  м

То есть можно не учитывать, что при движении автомобиля его отдельные точки двигались по-разному, ведь расстояние, которое проехал автомобиль, было намного больше, чем, скажем, его длина. А вот во втором случае пренебречь размерами автомобиля нельзя.

**7** Попробуйте привести аналогичные примеры, взяв в качестве исследуемых тел человека, Землю, карандаш, дерево.

*Обратите внимание!* Когда мы определяем координаты тела, то считаем это тело материальной точкой. Далее, когда будем говорить о движении тела, будем считать, что речь идет о движении материальной точки.

#### **i 4** Узнаем об относительности движения и покоя

То, что тело отсчета выбирается произвольно, означает, что *состояние движения и состояние покоя относительны*.

Представьте пассажира, который сидит в вагоне движущегося поезда (рис. 6.4). Относительно сиденья и вагона пассажир не изменяет своего положения со временем, то есть находится в состоянии покоя, а относительно деревьев за окном — движется.

**7** Читая этот текст, вы, скорее всего, сидите в классе за партой или дома за столом. Назовите тела, относительно которых вы движетесь, и тела, относительно которых вы пребываете в состоянии покоя.

Относительность движения дает возможность «остановить» движущийся автомобиль. Для этого нужен еще один автомобиль, который будет ехать рядом с первым, не отставая и не обгоняя его. В таком случае автомобили относительно друг друга будут пребывать в состоянии покоя. Вспомните, как каскадеры пересаживаются с одного мчащегося автомобиля на другой, который движется рядом! Тот же принцип используют и для заправки самолета топливом во время полета (рис. 6.5).



**Рис. 6.4.** Пассажир движется относительно деревьев за окном поезда и остается неподвижным относительно вагона



**i Рис. 6.5.** Заправка самолета в воздухе: самолеты находятся в состоянии покоя относительно друг друга



### Подводим итоги

Механическое движение — изменение со временем положения тела или частей тела в пространстве относительно других тел. Тело, относительно которого рассматривают положение движущегося тела, называется телом отсчета.

Тело отсчета, связанная с ним система координат и часы образуют систему отсчета. Состояния движения и покоя зависят от выбора системы отсчета, то есть являются относительными.

В физике для упрощения описания движения тела используют физическую модель — материальную точку. Материальная точка — это тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.



### Контрольные вопросы

1. Дайте определение механического движения. Приведите примеры.
2. Что такое тело отсчета? 3. Как задают систему координат? 4. Какие объекты образуют систему отсчета? 5. В каких случаях движущееся тело можно рассматривать как материальную точку? 6. Как вы понимаете выражение «механическое движение относительно»?



### Упражнение № 6

1. Определите, относительно каких тел рассматривается движение в следующих примерах: а) кусок пенопласта неподвижно лежит на поверхности воды в реке; б) мимо автомобиля «пролетают» придорожные столбы; в) Солнце утром встает на востоке, а вечером садится на западе.
2. Яков Исидорович Перельман (1882–1942) в своей книге «Занимательная физика» описывает случай, который произошел с пилотом самолета в начале XX в. (самолеты тогда летали сравнительно медленно, а кабина пилота была открытой). Поднявшись на высоту 2 км, пилот заметил у своего лица какой-то предмет. Подумав, что это насекомое, пилот поймал предмет рукой. Но «насекомое» оказалась ружейной пулей. Почему пилот смог поймать пулю?
3. Можно ли считать космический корабль материальной точкой, когда он: а) осуществляет перелет Земля — Марс? б) совершает посадку на поверхность Марса?
4. Координаты дерева, камня и светофора, расположенных на обочине прямолинейного участка дороги, соответственно таковы:  $x_d = -1$  км;  $x_k = 2$  км;  $x_c = 3,5$  км. Начертите ось координат, обозначьте на ней начало координат и положения указанных тел. Определите расстояния между телами.



### Экспериментальное задание

Свяжите с вашим столом двухмерную систему координат, приняв за начало координат любой угол стола, а в качестве осей координат — края стола, прилегающие к этому углу. Определите координаты ластика, настольной лампы или других предметов на столе. Представьте отчет в виде рисунка в определенном масштабе. На рисунке укажите масштаб, оси координат, расположение предметов и их координаты.

## § 7. ТРАЕКТОРИЯ ДВИЖЕНИЯ. ПУТЬ. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Возьмите лист бумаги и карандаш. Поставьте на листе точки *A* и *B* и соедините их кривой линией (рис. 7.1). Эта линия совпадает с траекторией движения кончика карандаша, то есть линией, в каждой точке которой последовательно побывал кончик карандаша во время своего движения. Подробнее о траектории движения, а также о многом другом вы узнаете из этого параграфа.



**Рис. 7.1.** На бумаге кончик карандаша оставляет линию, по которой двигался



**Рис. 7.2.** Иногда по следам легко восстановить траекторию движения тела

### 1 Узнаем о траектории движения

**Траектория движения** — это воображаемая линия, которую описывает в пространстве движущаяся точка.

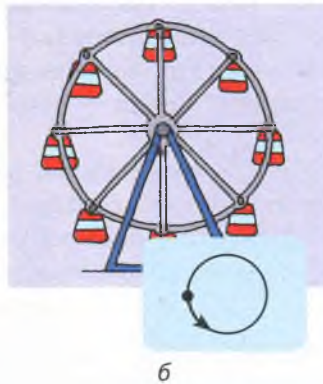
Обычно мы не видим траектории движения тел, но иногда бывают исключения. Так, в безоблачную погоду высоко в небе можно увидеть белый след, который во время своего движения оставляет самолет\*. По этому следу можно определить траекторию движения самолета.

Траектории движения каких тел можно восстановить по следам, изображенным на рис. 7.2? В каких случаях траекторию движения «заготавливают» заранее?

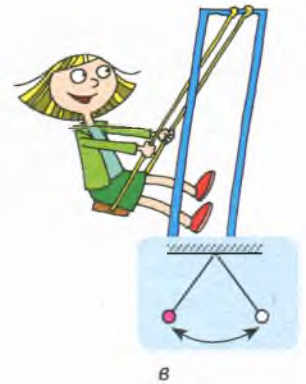
Форма траектории может быть разной: прямая, окружность, дуга, ломаная и т. д. В зависимости от формы траектории различают прямолинейное и криволинейное движения тел (рис. 7.3).



*a*



*б*



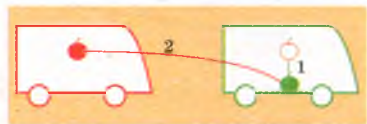
*в*

**Рис. 7.3.** Движение поезда на станции метро (*a*) — пример прямолинейного движения; движение кабинки колеса обозрения (*б*) и движение качелей (*в*) — примеры криволинейного движения. Стрелками показано направление движения

\* Почему возникает такой след и что он собой представляет, вы узнаете из курса физики 8 класса.

**i** Форма траектории движения тела зависит от того, относительно какой системы отсчета рассматривают движение.

Приведем пример. У мальчика, едущего в автобусе, упало из рук яблоко (рис. 7.4). Для девочки, сидящей напротив, траектория движения яблока — короткий отрезок прямой. В этом случае система отсчета, относительно которой рассматривается движение яблока, связана с салоном автобуса. Но все время, пока яблоко падало, оно «ехало» вместе с автобусом, поэтому для человека, стоящего на обочине дороги, траектория движения яблока абсолютно другая. Система отсчета в таком случае связана с дорогой.



**Рис. 7.4.** Траектория движения яблока для пассажиров автобуса — короткий отрезок прямой (на схеме — линия 1), для человека на обочине дороги — кривая линия (на схеме — линия 2)

## 2 Выясняем, чем путь отличается от перемещения

Вернемся к началу параграфа (см. рис. 7.1). Чтобы найти путь, который прошел конец карандаша, рисуя кривую линию, необходимо измерить длину этой линии, то есть найти длину траектории (рис. 7.5).

**Путь** — это физическая величина, равная длине траектории.

Путь обозначают символом  $l$ .

Единица пути в СИ — метр:

$$[l] = \text{м.}$$

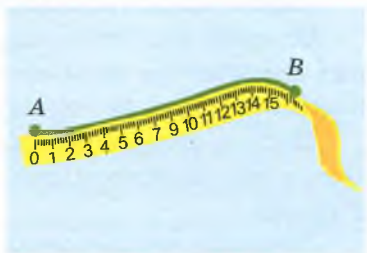
Используют также дольные и кратные единицы пути, например *миллиметр* (мм), *сантиметр* (см), *километр* (км):

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}; 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$$

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$$

Путь, пройденный телом, будет разным относительно разных систем отсчета. Вспомним яблоко в автобусе (см. рис. 7.4): для пассажиров яблоко прошло путь около полуметра, а для человека на обочине дороги — несколько метров.

Вернемся к рис. 7.1. Соединив точки A и B отрезком прямой со стрелкой, получим направленный отрезок, который покажет, в каком направлении и на какое расстояние переместился конец карандаша (рис. 7.6).



**Рис. 7.5.** Измерение длины траектории



**Рис. 7.6.** Перемещение показывает, в каком направлении и на какое расстояние переместилось тело за некоторый интервал времени

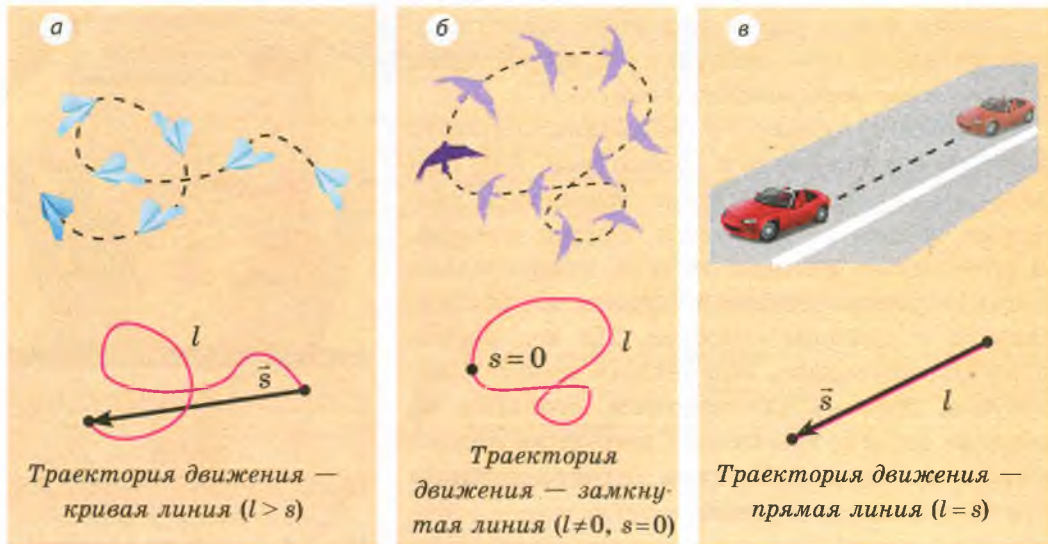


Рис. 7.7. Сравнение пути  $l$  и модуля перемещения  $s$  тела

Направленный отрезок прямой, соединяющий начальное и конечное положение тела, называют **перемещением**.

Перемещение обозначают символом  $\vec{s}$ .

Стрелка над символом показывает, что *перемещение* — это *векторная физическая величина*\*. Чтобы правильно задать перемещение, необходимо указать не только его значение (модуль), но и направление.

Модуль перемещения, то есть расстояние, на которое переместилось тело в определенном направлении, также обозначают символом  $s$ , но без стрелки.

Единица перемещения в СИ такая же, как и единица пути, — метр:

$$[s] = \text{м}.$$

В общем случае перемещение не совпадает с траекторией движения тела (рис. 7.7, а, б), поэтому путь, пройденный телом, обычно больше модуля перемещения. Путь и модуль перемещения равны только в том случае, когда тело движется вдоль прямой в неизменном направлении (рис. 7.7, в).



### Подводим итоги

Воображаемая линия, которую описывает в пространстве движущаяся точка, называется траекторией. В зависимости от формы траектории различают прямолинейное и криволинейное движения тел.

\* Физические величины, имеющие значение и направление, называется *векторными*, а имеющие только значение — *скалярными*.

Путь  $l$  — это физическая величина, равная длине траектории. Перемещение  $\vec{s}$  — это направленный отрезок прямой, соединяющий начальное и конечное положения тела. Единица пути и перемещения в СИ — метр (м).



### Контрольные вопросы

1. Дайте определение траектории движения.
2. Дайте определение пути.
3. Назовите единицу пути в СИ.
4. Почему, зная только путь и начальное положение тела, нельзя определить конечное положение тела?
5. Дайте определение перемещения.
6. Как перемещение обозначают на рисунках?
7. В каком случае модуль перемещения равен пройденному пути?
8. Зависят ли траектория движения тела, путь и перемещение от выбора системы отсчета? Приведите примеры.



### Упражнение № 7

1. Футболист пробегает за матч около 10 км. 10 км — это путь или модуль перемещения футболиста? Каким может оказаться минимальный модуль перемещения футболиста за матч?
2. Вертолет поднимается вертикально вверх (см. рисунок). Изобразите траекторию движения точек  $A$  и  $B$ , расположенных на лопастях винта вертолета: а) относительно пилота; б) относительно Земли.
3. Пассажир поезда прошел по вагону от первого до четвертого купе, расстояние между которыми равно 7,5 м. За это время вагон проехал 400 м. Определите, какой путь преодолел пассажир относительно поезда; относительно земли, если пассажир двигался: а) в направлении движения поезда; б) в направлении, противоположном направлению движения поезда.
4. В начальный момент времени тело находилось в точке  $A$  с координатами  $x_0 = 4$  м,  $y_0 = -3$  м. Через некоторый интервал времени тело переместилось в точку  $B$  с координатами  $x = -4$  м,  $y = 3$  м. Постройте систему координат, отметьте точки  $A$  и  $B$ , изобразите вектор перемещения тела, определите модуль перемещения. Можно ли, используя данные задачи, определить путь, пройденный телом?
5. Мотоциклист, двигаясь по арене цирка, проезжает окружность радиусом 13 м за 8 с. Определите путь и модуль перемещения мотоциклиста: а) за 4 с движения; б) за 8 с движения.
6. Воспользовавшись картой города (села), в котором вы живете, постройте траекторию вашего движения от дома до школы. Определите путь, который вы преодолеваете, и модуль перемещения.



7. Решите уравнения: а)  $5 = 2t$ ; б)  $4 + x = 2x$ ; в)  $1,8 = \frac{27}{y}$ .

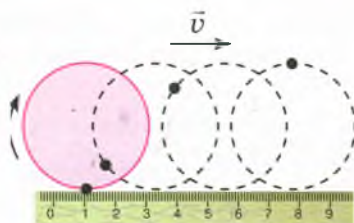




### Экспериментальное задание

«Циклоида». Постройте *циклоиду* — траекторию движения точки на ободе колеса во время прямолинейного движения транспортного средства. Для этого:

- 1) сделайте бумажный круг диаметром 2–3 см — «колесо», на «ободе» которого поставьте точку;
- 2) положите линейку на лист бумаги, «колесо» разместите над линейкой так, чтобы оно ее касалось;
- 3) перекатывая «колесо» вдоль линейки, как можно чаще отмечайте на бумаге положение указанной точки (см. рисунок);
- 4) соедините полученные отметки плавной линией.



Выберите другие точки, проколов в «колесе» 2–3 отверстия, одно из которых сделайте в центре колеса. Постройте траекторию движения каждой точки.

### Физика и техника в Украине



**Евгений Оскарович Патон** (1870–1953) — основатель Института электросварки, который сейчас носит его имя, автор и руководитель проектов более 100 сварных мостов. Среди них — расположенный в Киеве первый в мире цельносварной мост, известный сейчас как мост Патона.

В годы Второй мировой войны (1939–1945) под руководством Е. О. Патона в оборонную промышленность была внедрена технология автоматической сварки специальных сталей. Автоматы скоростной сварки позволили существенно облегчить процесс изготовления тяжелой техники, а кроме того, не требовали от рабочих высокой квалификации, специальных знаний и больших физических усилий (сварщиками могли работать подростки и женщины).

В послевоенные годы Е. О. Патон возглавил исследования по созданию научных основ сварки и широкому внедрению сварки в промышленность.

## § 8. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ. СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

В репортажах с автомобильных гонок, сообщениях о погоде можно, например, услышать: «Скорость движения автомобиля-победителя перед финишем достигла 250 километров в час»; «Скорость ветра достигала 25 метров в секунду» и т. п. Что это значит? Как сравнить эти скорости?

### 1 Знакомимся с равномерным движением

Слово «скорость» вы знаете давно. Поэтому, когда слышите, что скорость движения автомобиля составляет 20 метров в секунду, то понимаете: автомобиль, двигаясь с такой скоростью, каждую секунду проходит расстояние 20 м.

**1** Подумайте, какое расстояние проедет этот автомобиль за 10 секунд; за полсекунды; за 0,1 секунды.

Скорее всего, большинство из вас ответили так: за 10 с автомобиль проедет 200 м, за полсекунды — 10 м, за 0,1 с — 2 м. И эти ответы правильны, если считать, что *за любые (малые или большие) равные интервалы времени* автомобиль проезжает *одинаковый путь*. То есть если автомобиль движется *равномерно*.

**Равномерное движение** — это механическое движение, при котором тело за любые равные интервалы времени проходит одинаковый путь.

Обратите внимание на слова «*любые равные интервалы времени*». Иногда, рассматривая даже *неравномерное* движение тела, можно выделить такие равные интервалы времени, за которые тело проходит одинаковые расстояния. Например, каждые 30 с пловец проплывает дорожку в бассейне (25 м), но нельзя утверждать, что он движется равномерно, ведь при развороте он замедляет движение.

## 2 Изучаем равномерное прямолинейное движение

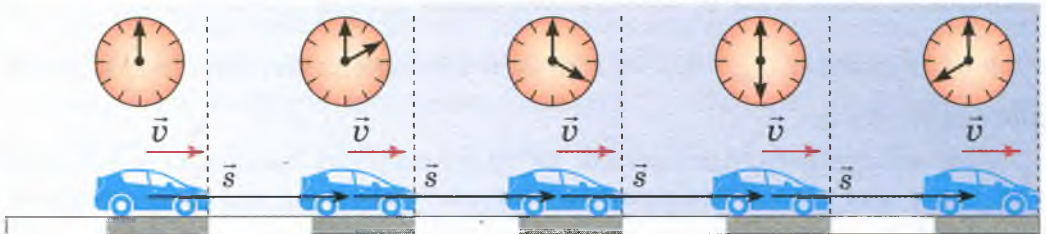
Если автомобиль равномерно движется по прямолинейному участку дороги, то за равные интервалы времени он совершает одинаковые перемещения (рис. 8.1), то есть проходит одинаковый путь и не изменяет направления своего движения. Такое движение называют равномерным прямолинейным.

**Равномерное прямолинейное движение** — это механическое движение, при котором за любые равные интервалы времени тело совершает одинаковые перемещения.

Равномерное прямолинейное движение — простейший вид движения, который в жизни встречается редко. Примерами такого движения могут быть движение автомобиля на прямолинейном участке дороги (без разгона и торможения), падение металлического шарика в растительном масле, полет парашютиста через некоторое время после раскрытия парашюта.

## 3 Даем определение скорости равномерного движения

Полагаем, вам несложно определить скорость равномерного движения, например, пешехода, который прошел 30 м за 20 с. Из курса



**Рис. 8.1.** Автомобиль, движущийся равномерно прямолинейно, за любые равные интервалы времени совершает одинаковые перемещения.

математики вы хорошо знаете, что для этого нужно путь, который прошёл пешеход ( $l = 30\text{ м}$ ), разделить на время его движения ( $t = 20\text{ с}$ ).

**Скорость равномерного движения** ( $v$ ) — это физическая величина, равная отношению пути  $l$ , пройденного телом, к интервалу времени  $t$ , в течение которого этот путь был пройден:

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

*Обратите внимание!* В ходе равномерного прямолинейного движения модуль перемещения равен пути ( $s = l$ ), поэтому значение скорости движения можно определить по любой из формул:

$$v = \frac{s}{t} \text{ или } v = \frac{l}{t}.$$

В Международной системе единиц путь измеряют в метрах, время — в секундах, поэтому *единица скорости движения в СИ* — метр в секунду:

$$[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  равен скорости такого равномерного движения, при котором тело за 1 с проходит путь 1 м.

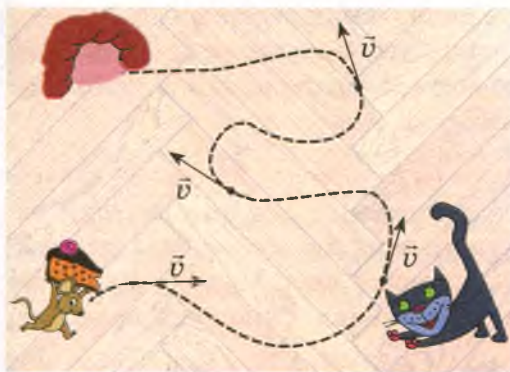
Прибором для прямого измерения скорости движения служит *спидометр*.

#### 4 Характеризуем скорость движения

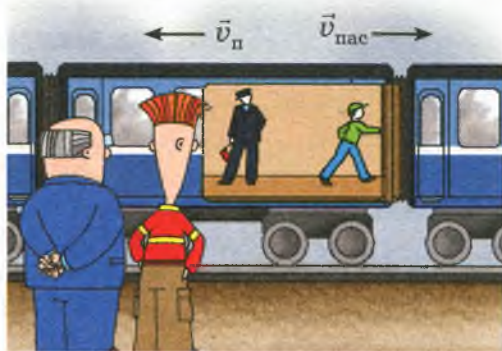
*Скорость движения* — векторная величина: она имеет не только значение, но и направление. На рисунках направление скорости движения тела показывают стрелкой (см. [рис. 8.1, 8.2](#)). Если тело движется равномерно прямолинейно, то значение и направление скорости движения остаются неизменными (см. [рис. 8.1](#)). Если тело движется равномерно по криволинейной траектории, значение скорости движения остается неизменным, а направление все время изменяется ([рис. 8.2](#)).

*Направление и значение скорости движения зависят от того, относительно какого тела рассматривают движение.* Представьте, что вы стоите в вагоне поезда, движущегося на восток ([рис. 8.3](#)). Поезд проезжает мимо станции со скоростью  $v_{\text{п}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . В это время другой пассажир идет по вагону со скоростью  $v_{\text{пас}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , двигаясь в направлении, противоположном движению поезда.

Как вы считаете, одинаковой ли будет скорость движения пассажира для вас и для людей, стоящих на перроне? Конечно, нет! Для вас пассажир движется на запад со скоростью  $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а для людей на перроне он вместе с поездом движется на восток со скоростью  $4,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .



**Рис. 8.2.** При криволинейном движении направление скорости движения все время изменяется



**Рис. 8.3.** Направление и значение скорости движения зависят от того, где находится наблюдатель

Значение скорости движения может быть выражено не только в метрах в секунду, но и в других единицах. Например, автомобиль движется со скоростью 36 километров в час  $\left(v_{\text{авт}} = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$ , ракета мчится со скоростью 8 километров в секунду  $\left(v_{\text{р}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$ , улитка ползет со скоростью 18 сантиметров в минуту  $\left(v_{\text{ул}} = 18 \frac{\text{см}}{\text{мин}}\right)$  и т. д.

Для решения задач нужно научиться представлять скорость движения, данную в одних единицах, в других единицах. Например, скорость движения автомобиля — 36 км/ч. Чтобы представить эту скорость в метрах в секунду, вспомним, что 1 ч = 3600 с, а 1 км = 1000 м. Тогда:

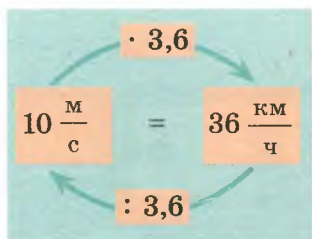
$$36 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{36 \text{ км}}{1 \text{ ч}} = \frac{36 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

**☞** Попробуйте представить в метрах в секунду скорости движения ракеты и улитки (приведены выше).

Сложнее переводить в другие единицы скорость движения, данную в метрах в секунду, но последовательность действий остается той же.

Например, скорость движения самолета — 250 м/с. Представим ее в километрах в час, вспомнив, что 1 м = 0,001 км; 1 с =  $\frac{1}{3600}$  ч:

$$250 \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{250 \text{ м}}{1 \text{ с}} = \frac{250 \cdot 0,001 \text{ км}}{\frac{1}{3600} \text{ ч}} = 250 \cdot 0,001 \cdot 3600 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 250 \cdot 3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 900 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$



**Рис. 8.4.** Схема перевода скорости движения, выраженной в метрах в секунду, в скорость, выраженную в километрах в час, и наоборот

Чтобы скорость движения, представленную в метрах в секунду, выразить в километрах в час (и наоборот), можно воспользоваться схемой, приведенной на [рис. 8.4](#).

### 5 Определяем путь и время движения тела

Из курса математики вы знаете: если известны скорость и время движения тела, то можно найти путь, который прошло тело. Для этого нужно скорость движения умножить на время:

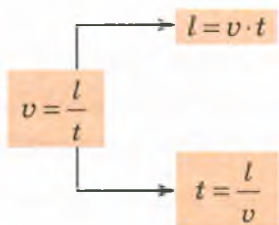
$$l = vt,$$

где  $l$  — путь;  $v$  — скорость движения;  $t$  — время движения с данной скоростью.

Если известны путь и скорость движения тела, можно найти время движения тела. Для этого необходимо путь разделить на скорость движения:

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

Иногда для определения пути, скорости или времени движения тела удобно пользоваться «волшебным треугольником» ([рис. 8.5](#)).



### Подводим итоги

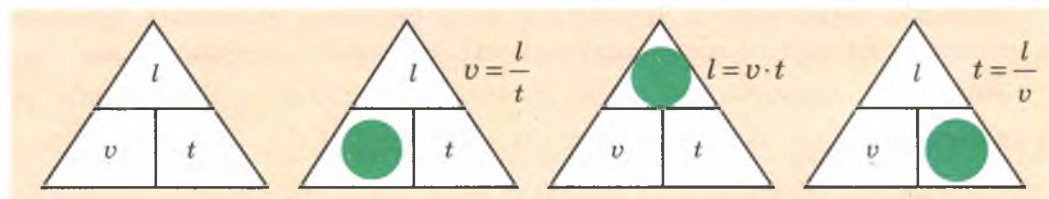
Равномерное движение — это механическое движение, при котором за любые равные интервалы времени тело проходит одинаковый путь.

Равномерное прямолинейное движение — это механическое движение, при котором за любые равные интервалы времени тело совершает одинаковые перемещения.

Скорость равномерного движения — это физическая величина, равная отношению пути, который прошло тело, к интервалу времени, в течение которого этот путь был пройден:  $v = \frac{l}{t}$ .

Единица скорости движения в СИ — метр в секунду (м/с). Спидометр — прибор для прямого измерения скорости движения тела.

Кроме значения скорость движения имеет направление. Направление и значение скорости движения тела зависят от выбора системы отсчета.



**Рис. 8.5.** Закрыв пальцем символ искомой величины (обозначение пути, времени или скорости движения), получаем формулу для ее вычисления



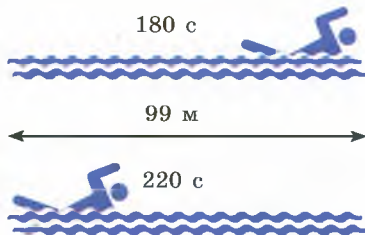
### Контрольные вопросы

1. Какое движение называют равномерным? 2. Какое движение называют равномерным прямолинейным? Приведите примеры. 3. Как найти скорость равномерного движения тела? 4. Назовите единицы скорости движения. 5. Спидометры автомобилей проградуированы в километрах в час. Как скорость, измеренную спидометром, выразить в метрах в секунду? 6. Как вычислить путь, пройденный телом, если известны скорость и время его движения? 7. Как вычислить время движения тела, если известны путь и скорость его движения?



### Упражнение № 8

1. Стадо антилоп может длительное время сохранять скорость движения  $80 \text{ км/ч}$ . Какой путь преодолет стадо за полчаса, двигаясь с такой скоростью?
2. Считая движение пловцов равномерным (см. рисунок), определите скорость движения каждого из них.
3. Определите, какая скорость движения больше:  $16 \text{ м/с}$  или  $54 \text{ км/ч}$ .
4. Представьте в метрах в секунду:  $18 \text{ км/ч}$ ;  $108 \text{ км/мин}$ ;  $72 \text{ см/мин}$ .
5. Представьте в километрах в час:  $2 \text{ м/с}$ ;  $30 \text{ км/мин}$ ;  $20 \text{ см/с}$ .
6. В астрономии существует единица длины *световой год*, которую применяют для определения межзвездных расстояний. Один световой год равен расстоянию, которое проходит свет в вакууме за 1 год. Представьте это расстояние в километрах, считая, что скорость распространения света в вакууме равна  $300\,000 \text{ км/с}$ .
7. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и подготовьте презентацию о скорости движения в живой природе или о скорости движения современных транспортных средств. Подготовьте краткое сообщение.



### Экспериментальное задание

«Автомобильные гонки». Устройте с друзьями гонки игрушечных автомобилей. Для этого к каждому игрушечному автомобилю привяжите нитку. Другой конец нитки закрепите на карандаше. Двигайте автомобили, вращая карандаш (см. рисунок). Кто быстрее пройдет трассу? Какова скорость движения каждого автомобиля? Какие приборы вам нужны, чтобы это определить? Представьте результаты гонок в виде таблицы соревнований.



## § 9. УЧИМСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ

Может, вы будете удивлены, но в повседневной жизни вы уже встречались с физическими задачами и даже решали их. Приведем несколько примеров физических задач, прокомментируем основные этапы их решения, и в дальнейшем вы будете подходить к решению таких задач как настоящие физики.

**Задача 1.** Предположим, что до начала уроков остается 15 минут, а вы знаете, что расстояние от вашего дома до школы равно 1800 м. Придете ли вы вовремя, если будете идти со скоростью  $3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ? С какой наименьшей скоростью вы должны идти, чтобы не опоздать?

*Анализ физической проблемы.* В задаче нужно найти:

1) время  $t_1$  движения до школы с указанной скоростью  $v_1$ ;

2) наименьшую скорость  $v_2$ , с которой следует идти, чтобы затратить на путь не более 15 мин ( $t_2 = 15$  мин).

Движение будем считать равномерным.

Скорость движения дана в  $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , а путь — в единицах СИ. Представим время и значение скорости движения в единицах СИ:

$$15 \text{ мин} = 15 \cdot 60 \text{ с} = 900 \text{ с};$$

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

Закончив анализ, запишем краткое условие задачи.

*Дано:*

$$l = 1800 \text{ м}$$

$$v_1 = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t_2 = 15 \text{ мин} = 900 \text{ с}$$

*Найти:*

$$t_1 - ?$$

$$v_2 - ?$$

*Поиск математической модели.*

Движение равномерное, поэтому воспользуемся формулой для расчета скорости равномерного движения:

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

1-й этап

**Анализ физической проблемы**

1. Внимательно читаем условие задачи, определяем, какая физическая ситуация рассматривается, о каких физических величинах идет речь.

2. Определяем, в каких единицах будем решать задачу. Обычно задачи решают в единицах СИ.

3. При необходимости выполняем пояснительный рисунок. Часто именно рисунок помогает лучше разобраться в задаче.

4. Записываем краткое условие задачи. Ниже слова «Дано» записываем символы данных в условии физических величин и их значения в выбранных единицах. Ниже слова «Найти» записываем символы физических величин, которые следует найти.

2-й этап

**Поиск математической модели**

1. В физике любому расчету предшествует запись формулы, поэтому справа от слова «Дано» записываем уравнения, которые связывают физические величины, характеризующие описываемое в задаче физическое явление или физическое тело.

2. Учитываем конкретные условия физической ситуации, описанной в задаче, ищем дополнительные параметры.

**Решение.** Найдем выражения для расчета искомых величин  $t_1$  и  $v_2$ :

$$v_1 = \frac{l}{t_1}, \text{ поэтому } t_1 = \frac{l}{v_1}; v_2 = \frac{l}{t_2}.$$

Проверим единицы искомых величин:

$$[t_1] = \text{м} : \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \text{с}; [v_2] = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Найдем числовые значения искомых величин:

$$t_1 = \frac{1800}{1} = 1800 \text{ (с)}; t_1 = 30 \text{ мин};$$

$$v_2 = \frac{1800}{900} = 2 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right); v_2 = 7,2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

**Обратите внимание!** Для получения ответа в выражение для искомой величины можно сразу подставлять и числовые значения, и единицы известных величин. В этом случае запись будет такой:

$$t_1 = \frac{1800 \text{ м}}{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{1800 \text{ м} \cdot \text{с}}{1 \text{ м}} = 1800 \text{ с} = 30 \text{ мин};$$

$$v_2 = \frac{1800 \text{ м}}{900 \text{ с}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 7,2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

**Анализ результатов.** Поскольку  $t_1 > t_2$ , то, двигаясь со скоростью  $v_1 = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , вы не успеете к началу уроков. Чтобы не опоздать, нужно двигаться со скоростью, значение которой больше  $3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Именно такое значение получено в ходе решения. Следовательно, полученные значения искомых величин вполне правдоподобны.

$$\text{Ответ: } t_1 = 30 \text{ мин}; v_2 = 7,2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

### 3-й этап Решение. Анализ полученных результатов

1. Решаем уравнение относительно неизвестной величины.

2. Проверяем единицы искомой величины. Для этого в полученную формулу подставляем только единицы, без числовых значений. Если получена совсем другая единица (например, получилось, что время измеряется в килограммах), ищем ошибку.

3. Выполняем необходимые вычисления и анализируем результат, прежде всего — на уровне здравого смысла (к примеру, путь от школы домой вряд ли будет занимать сутки или 1 с).

### 4-й этап Запись ответа





**Задача 2.** По озеру навстречу друг другу равномерно прямолинейно движутся два катера. На начало наблюдения расстояние между катерами составляло 1500 м. Скорость движения первого катера равна  $36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , второго —  $54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Через какое время катера встретятся? Какое расстояние пройдет до встречи первый катер?

*Анализ физической проблемы.* Катера движутся навстречу друг другу. Это значит, что они приближаются друг к другу со скоростью  $v = v_1 + v_2$  и с этой же скоростью проходят расстояние  $l = 1500$  м.

Задачу будем решать в единицах СИ.

**Дано:**

$$v_1 = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_2 = 54 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$l = 1500 \text{ м}$$

**Найти:**

$$t \text{ — ?}$$

$$l_1 \text{ — ?}$$

*Поиск математической модели, решение.*

По определению скорости движения:

$$v = \frac{l}{t} \Rightarrow t = \frac{l}{v} (*)$$

Так как  $v = v_1 + v_2$ , то  $t = \frac{l}{v_1 + v_2}$ .

Зная время  $t$  и скорость движения  $v_1$ , определим путь  $l_1$ , который пройдет первый катер до встречи:

$$l_1 = v_1 \cdot t.$$

Проверим единицы искомых величин:

$$[t] = \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}} + \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \text{с}; [l_1] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}} = \text{м}.$$

Определим числовые значения искомых величин:

$$t = \frac{1500}{10 + 15} = \frac{1500}{25} = 60 \text{ (с)}; l_1 = 10 \cdot 60 = 600 \text{ (м)}.$$

*Анализ результатов.* Так как первый катер движется медленнее второго, то до момента встречи он пройдет меньший путь. Такой результат и получен:  $l_1 = 600$  м, а  $l_2$  соответственно  $1500 \text{ м} - 600 \text{ м} = 900 \text{ м}$ . Поэтому результаты вполне реальны.

**Ответ:**  $t = 60$  с;  $l_1 = 600$  м.



### Упражнение № 9

1. Крейсерская скорость движения\*\* самолета АН-158 равна  $820 \text{ км/ч}$ . За какое время этот самолет пролетит  $410 \text{ км}$ ?

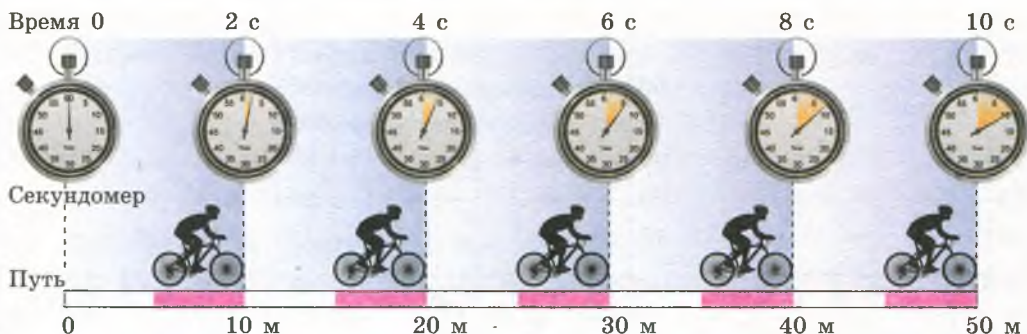
\* Символ  $\Rightarrow$  используют для упрощения и сокращения записи текста. Здесь он означает: поскольку  $v = \frac{l}{t}$ , то  $t = \frac{l}{v}$ .

\*\* Крейсерская скорость движения — скорость движения самолета или судна при наименьших затратах топлива.

- Судно движется равномерно со скоростью  $7,5$  м/с. Какой путь оно пройдет за 2 часа?
- Мальчик, двигаясь с неизменной скоростью, преодолел расстояние от своего дома до школьного стадиона за  $1,5$  мин. На обратный путь он затратил  $70$  с. Куда мальчик двигался быстрее — до стадиона или домой? Во сколько раз быстрее?
- Автопогрузчик движется равномерно вдоль ряда контейнеров. Контейнеры, длиной  $12$  м каждый, стоят вплотную друг к другу. С какой скоростью движется автопогрузчик, если мимо  $5$  контейнеров он проезжает за  $1$  мин?
- Во время соревнований по бегу первый школьник пробежал  $10$  мин со скоростью  $12$  км/ч, второй —  $5$  км за полчаса, третий —  $4$  км со скоростью  $12,5$  км/ч. Кто из школьников двигался быстрее всех? Кто преодолел наибольшее расстояние? Кто бежал дольше всех?
- Поезд едет со скоростью  $20$  м/с, а навстречу ему по соседнему пути движется другой поезд со скоростью  $36$  км/ч. Сколько времени поезда будут проезжать мимо друг друга, если длина первого поезда равна  $900$  м, а второго —  $600$  м?
- Представьте, что во время путешествия вы увидели вспышки молнии и услышали вдалеке раскаты грома. Вы хотите узнать: приближается ли гроза? Какие измерения и расчеты вам следует произвести, чтобы ответить на этот вопрос? *Подсказка:* считайте, что свет от вспышки молнии достигает ваших глаз мгновенно, а скорость распространения звука в воздухе приблизительно равна  $340$  м/с.

## § 10. ГРАФИКИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Велосипедист едет по трассе (рис. 10.1). Скорость движения, которую показывает спидометр велосипеда в любой момент времени, равна  $5$  м/с. Как описать движение велосипедиста и вообще любого тела с помощью графиков? Вспомним, ведь графики движения тел вы изучали в курсе математики 6 класса.



**Рис. 10.1.** Велосипедист движется равномерно прямолинейно: за любые равные интервалы времени он проезжает одинаковый путь

## 1 Строим график зависимости пути от времени для равномерного движения тела

Построим *график зависимости пути*, который проезжает велосипедист (см. рис. 10.1), *от времени наблюдения — график пути*.

Для построения графика выполним следующие действия.

1. Заполним таблицу соответствующих значений времени  $t$  движения спортсмена и пути  $l$ , который он преодолевает за это время.

Понятно, что в момент начала наблюдения ( $t=0$ ) путь равен нулю ( $l=0$ ). За время  $t=2$  с велосипедист преодолеет расстояние 10 м:  $l=vt=5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2 \text{ с} = 10 \text{ м}$ . Рассуждая аналогично, получим:

$t, \text{ с}$	0	2	4	6	8	10
$l, \text{ м}$	0	10	20	30	40	50

2. Проведем две взаимно перпендикулярных оси.

На горизонтальной оси — оси абсцисс — отложим время движения велосипедиста в секундах ( $t, \text{ с}$ ) так, что одной клетке будет соответствовать интервал времени 2 с.

На вертикальной оси — оси ординат — отложим путь в метрах ( $l, \text{ м}$ ) так, что одной клетке будет соответствовать путь, равный 10 м (рис. 10.2, а).

3. Построим точки с координатами: (0; 0), (2; 10), (4; 20), (6; 30), (8; 40), (10; 50).

Абсциссы данных точек соответствуют времени движения спортсмена, ординаты соответствуют пути, который он проехал за это время (рис. 10.2, б).

4. Соединим построенные точки линией (рис. 10.2, в). Полученный отрезок прямой — *график пути* велосипедиста.

**Обратите внимание!** Велосипедист движется равномерно, поэтому путь, который он проезжает, можно определить по формуле  $l=vt$ , в любой момент времени  $v=5 \text{ м/с}$ ; поэтому можно записать:  $l=5t(\text{м})$ , где время  $t$  дано в секундах. Равенство  $l=5t$  — *уравнение зависимости пути*, который проезжает велосипедист, *от времени наблюдения*.

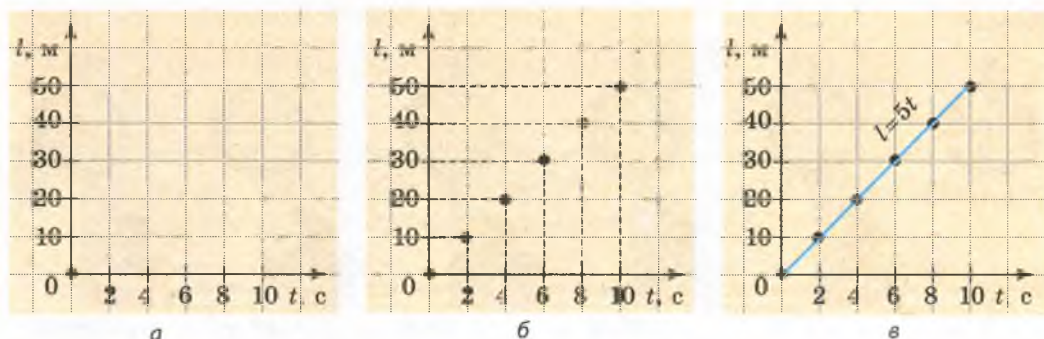


Рис. 10.2. Построение графика пути велосипедиста, равномерно движущегося со скоростью  $v=5 \text{ м/с}$

При равномерном движении график пути — это всегда отрезок прямой, наклоненной под определенным углом к оси времени. Поэтому для построения графика пути достаточно определить путь  $l$  для двух значений времени  $t$  и через полученные две точки провести отрезок прямой. Например, чтобы построить график пути велосипедиста, можно взять время начала наблюдения ( $t=0$ ) и время окончания наблюдения ( $t=10$  с) (рис. 10.3).

## 2 Выясняем, что можно узнать по графику пути

График пути дает много полезной информации. По графику пути можно:

- 1) выяснить характер движения тела;
- 2) определить путь, который проходит тело за определенный интервал времени;
- 3) определить скорость движения тела;
- 4) сравнить скорости движения тел: чем больше скорость движения тела, тем больше угол между графиком пути и осью времени (рис. 10.4).

Рассмотрим пример.

**Задача.** По графику пути, представленному на рис. 10.5, узнайте: 1) как двигалось тело; 2) какой путь прошло тело за первый час; за следующие два часа; 3) какой была скорость движения тела на каждом участке.

**Решение**

По графику видим, что весь путь состоит из трех участков, на каждом из которых тело двигалось равномерно (график пути тела — отрезки прямых).

**Участок I.** По графику видим, что путь, пройденный телом за первый час, равен 20 км, поэтому скорость движения тела составляла:

$$v_I = \frac{l_I}{t_I} = \frac{20 \text{ км}}{1 \text{ ч}} = 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

**Участок II.** За следующие два часа тело прошло путь  $l_{II} = 30 \text{ км} - 20 \text{ км} = 10 \text{ км}$ . Соответственно скорость движения тела была равна:

$$v_{II} = \frac{l_{II}}{t_{II}} = \frac{10 \text{ км}}{2 \text{ ч}} = 5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

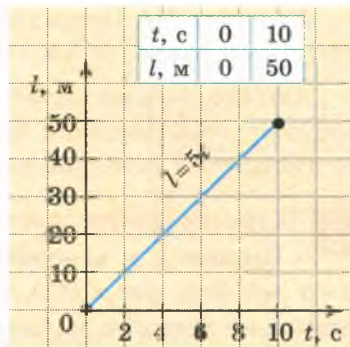


Рис. 10.3. График пути для тела, движущегося с постоянной скоростью 5 м/с

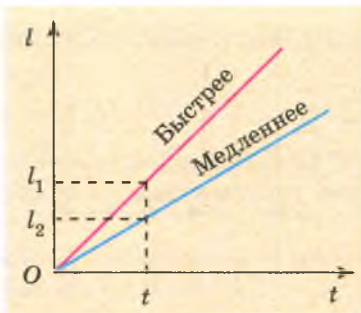


Рис. 10.4. За одно и то же время тело, имеющее большую скорость движения, проходит больший путь ( $l_1 > l_2$ )

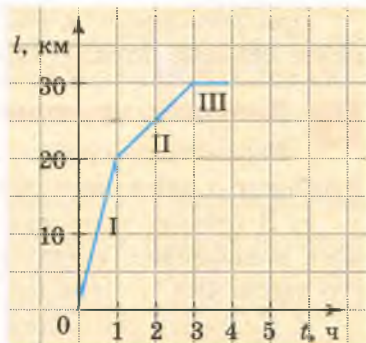


Рис. 10.5. К задаче в § 10

*Участок III.* Последний час путь не изменялся, значит, тело остановилось:  $l_{III} = 30 \text{ км} - 30 \text{ км} = 0$ ;  $v = 0$ .

*Анализ результатов.* По графику видим, что участок I графика образует с осью времени больший угол, чем участок II. Поэтому участок I соответствует большей скорости движения тела.

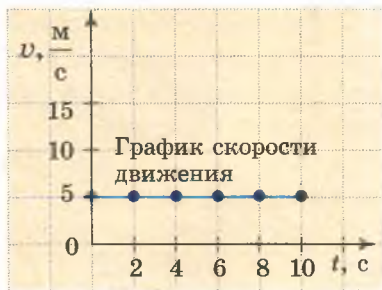
### 3 Строим график скорости равномерного движения тела

Вернемся к велосипедисту, движущемуся равномерно со скоростью  $v = 5 \text{ м/с}$  (см. рис. 10.1). Построим график зависимости скорости его движения от времени наблюдения — *график скорости движения*.

Для построения графика выполним следующие действия.

1. Заполним таблицу соответствующих моментов времени  $t$  движения велосипедиста и скорости движения  $v$ , которую он имел в эти моменты времени:

$t, \text{ с}$	0	2	4	6	8	10
$v, \text{ м/с}$	5	5	5	5	5	5



**Рис. 10.6.** График скорости движения велосипедиста, движущегося равномерно со скоростью  $v = 5 \text{ м/с}$ . Время наблюдения  $t = 10 \text{ с}$

Велосипедист двигался равномерно, поэтому скорость его движения оставалась неизменной в течение всего времени наблюдения.

2. Проведем две взаимно перпендикулярных оси. На оси абсцисс отложим время движения велосипедиста в секундах ( $t, \text{ с}$ ), на оси ординат — скорость движения в метрах в секунду ( $v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ) (рис. 10.6).

3. Построим точки с координатами (0; 5), (2; 5), (4; 5), (6; 5), (8; 5), (10; 5). Абсциссы указанных точек соответствуют времени движения спортсмена, ординаты — скорости его движения.

4. Соединим точки линией. Полученный отрезок прямой — *график скорости движения велосипедиста*.

*При равномерном движении график скорости движения тела — отрезок прямой, параллельной оси времени.*

### 4 Выясняем, что можно узнать по графику скорости движения тела

Рассмотрим график скорости движения некоторого тела (рис. 10.7, а) и узнаем о движении данного тела как можно больше.

1. В течение интервалов времени от 0 до 5 с и от 5 до 15 с тело двигалось равномерно, поскольку соответствующие участки графика скорости его движения — отрезки прямых, параллельных оси времени.

2. Скорость движения тела в течение последних 10 с наблюдения больше, чем в течение первых 5 с, поскольку второй участок графика расположен дальше от оси времени, чем первый участок (рис. 10.7, б).



Рис. 10.7. Исследование графика скорости движения тела

В данном случае:  $v_1 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  — на интервале времени от 0 до 5 с;  
 $v_2 = 9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  — на интервале времени от 5 до 15 с.

3. Можно определить путь  $l$ , который прошло тело (вспомните:  $l = vt$ ). Так, за интервал времени от 5 до 15 с тело прошло путь 90 м:

$$l_2 = v_2 t_2 = 9 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot (15 \text{ с} - 5 \text{ с}) = 90 \text{ м}.$$

Этот путь численно равен площади заштрихованного прямоугольника (рис. 10.7, в):

$$S = a \cdot b = 10 \cdot 9 = 90; l = 90 \text{ м}.$$

*Обратите внимание!* Для любого движения числовое значение пути, который прошло тело, равно числовому значению площади фигуры под графиком скорости движения этого тела.



### Подводим итоги

При равномерном движении тела график пути — это всегда отрезок прямой, наклоненной под определенным углом к оси времени, а график скорости движения — это отрезок прямой, параллельной оси времени.

По графику пути можно: 1) узнать, как двигалось тело; 2) вычислить путь, который прошло тело за определенный интервал времени; 3) вычислить и сравнить скорости движения тел: чем больше скорость движения тела, тем больше угол между графиком пути и осью времени.

По графику скорости движения можно: 1) узнать, как двигалось тело; 2) вычислить путь, который прошло тело за определенный интервал времени; 3) вычислить и сравнить скорости движения тел: чем больше скорость движения тела, тем дальше от оси времени расположен график скорости его движения.



### Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет график пути при равномерном движении тела?
2. Как по графикам путей двух тел сравнить скорости движения этих тел?
3. Какой вид имеет график скорости при равномерном движении тела?
4. Как по графикам скоростей движения двух тел сравнить скорости движения этих тел?
5. Как по графику скорости движения тела определить путь, пройденный телом?



**Упражнение № 10**

1. По графикам скоростей движения трех тел (рис. 1) определите, как двигались эти тела; какое тело двигалось быстрее остальных.
2. Ягуар может некоторое время двигаться со скоростью 25 м/с. Постройте график скорости движения ягуара за 5 с наблюдения. Покажите на графике путь, который преодолевает ягуар за это время, и вычислите этот путь.
3. На рис. 2 представлены графики путей пешехода, велосипедиста и трактора, движущихся со скоростями 4, 12 и 24 км/ч соответственно. Какой из изображенных графиков какому телу соответствует? Постройте график скорости движения для каждого тела.
4. Рассмотрите график полета орла (рис. 3) и определите: а) какой путь преодолел орел за время наблюдения; б) сколько времени орел отдыхал; в) какое расстояние преодолел орел за первые 25 с наблюдения. Постройте график скорости движения орла.
5. Рассмотрите график скорости движения тела (рис. 4) и выясните: а) как двигалось тело; б) какой была скорость движения тела на каждом участке пути; в) какой путь преодолело тело. Постройте график пути данного тела.
6. Придумайте графическую задачу на движение из жизни ваших любимых героев мультфильмов, решите ее и оформите на отдельном листе.

7. Из уравнения  $v = \frac{l_1 + l_2}{t}$  найдите:

- а)  $v$ , если  $l_1 = 15$  м,  $l_2 = 20$  м,  $t = 10$  с;
- б)  $t$ , если  $l_1 = 1$  км,  $l_2 = 9$  км,  $v = 4$  км/ч;
- в)  $l_1$ , если  $l_2 = 100$  м,  $t = 5$  мин,  $v = 25$  м/мин.

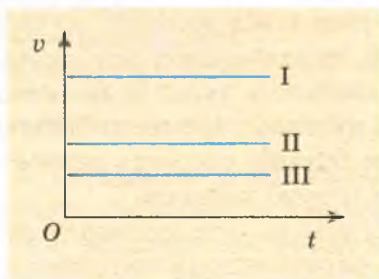


Рис. 1

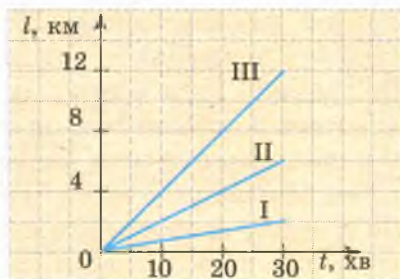


Рис. 2

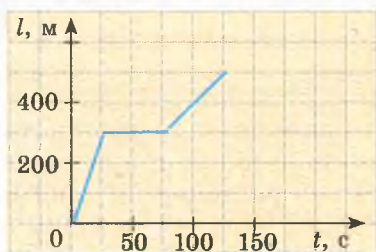


Рис. 3

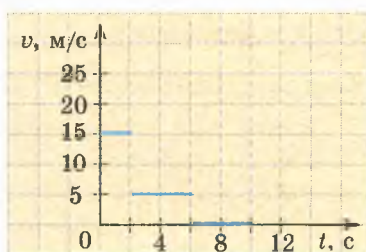


Рис. 4

## § 11. НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Наверняка вам случалось ехать на автобусе или автомобиле из одного города в другой. Вспомните: транспортное средство время от времени тормозит, останавливается, потом снова набирает скорость... Стрелка спидометра все время колеблется и только иногда замирает на месте. Можно ли назвать такое движение равномерным? Конечно, нет. А как называют такое движение? Как его описывают?

### Т Наблюдаем неравномерное движение

В повседневной жизни мы обычно имеем дело с *неравномерным движением*. Так, неравномерным является движение автобуса (рис. 11.1) и других транспортных средств, движение падающих тел, движение спортсменов на беговой дорожке. А еще вспомните, например, как катится мяч, как вы движетесь во время прогулки, на уроках физкультуры и т. д.

**Неравномерное движение** — это движение, при котором тело за равные интервалы времени проходит разный путь.

*Обратите внимание!* При неравномерном движении значение скорости движения тела со временем изменяется.

Попробуйте привести примеры неравномерного движения.

Теперь мы можем классифицировать *виды механического движения* (см. таблицу):

- по форме траектории — прямолинейное, криволинейное;
- по характеру движения тела — равномерное, неравномерное.



**Рис. 11.1.** Автобус движется неравномерно, время от времени замедляясь, останавливаясь и снова разгоняясь

### Виды механического движения

по форме траектории		по характеру движения тела	
прямолинейное	криволинейное	равномерное	неравномерное
			
Траектория движения — прямая линия	Траектория движения — кривая линия	Значение скорости движения тела не изменяется со временем	Значение скорости движения тела изменяется со временем





**Рис. 11.2.** Средняя скорость движения поезда — отношение расстояния между начальной и конечной станциями ко всему времени движения

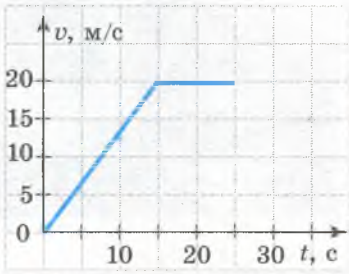
## 2 Вычисляем среднюю скорость движения тела

Предположим, что поезд прошел 150 км (расстояние между двумя станциями) за 2,5 ч. Если разделить 150 км на 2,5 ч, получим скорость движения поезда — 60 км/ч. Но ведь поезд двигался неравномерно! В таком случае говорят, что получена *средняя скорость движения поезда* (рис. 11.2).

**Средняя скорость движения тела**  $v_{\text{ср}}$  — это физическая величина, равная отношению всего пути  $l$ , который прошло тело, к интервалу времени  $t$ , за который этот путь пройден:

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t}$$

*Обратите внимание!* В данном случае  $t$  — это сумма времени движения тела и времени, потраченного на возможные остановки.



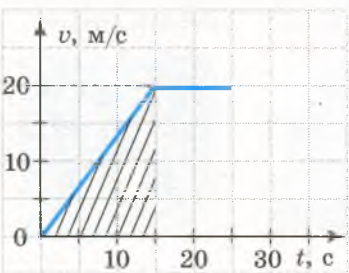
**Рис. 11.3.** График скорости некоторого тела, движущегося неравномерно

## 3 Анализируем график скорости неравномерного движения тела

Рассмотрим график скорости неравномерного движения некоторого тела (рис. 11.3) и определим: как двигалось тело; какой путь прошло тело за 25 с наблюдения; какой была средняя скорость движения тела на данном пути.

По графику видим, что скорость движения тела в течение первых 15 с равномерно увеличивалась от 0 до 20 м/с.

Чтобы вычислить путь, пройденный телом за это время, вспомним: *числовое значение пути, который прошло тело, равно числовому значению площади фигуры под графиком скорости движения этого тела.* Итак, определим площадь заштрихованного треугольника (рис. 11.4).



**Рис. 11.4.** Путь, пройденный телом за первые 15 с наблюдения, численно равен площади заштрихованного треугольника

Из рисунка видим, что площадь заштрихованного треугольника равна половине площади прямоугольника с «длиной» 20 м/с и «шириной» 15 с. Площадь прямоугольника, в свою очередь, равна произведению его длины и ширины. Таким образом, путь  $l_1$ , пройденный телом за 15 с, равен:

$$l_1 = \frac{1}{2} \left( 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 15 \text{ с} \right) = \frac{300 \text{ м}}{2} = 150 \text{ м}.$$

Следующий интервал времени  $t_2 = 10$  с тело двигалось равномерно со скоростью  $v_2 = 20$  м/с, поэтому путь  $l_2$ , пройденный телом за это время, равен:

$$l_2 = v_2 t_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 10 \text{ с} = 200 \text{ м}.$$

Весь путь  $l$ , пройденный телом за 25 с наблюдения, составил 350 м:

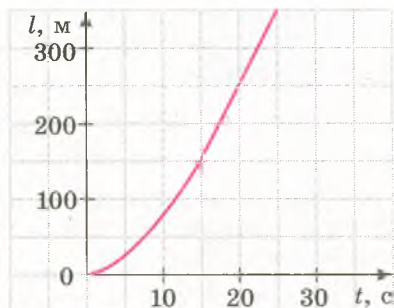
$$l = 150 \text{ м} + 200 \text{ м} = 350 \text{ м}.$$

Зная весь путь  $l$  и все время  $t$  движения тела, найдем среднюю скорость его движения:

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t} = \frac{350 \text{ м}}{25 \text{ с}} = 14 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

График пути для данного движения приведен на [рис. 11.5](#).

**Обратите внимание!** Путь не может уменьшаться, поэтому график пути либо поднимается, либо остается горизонтальным, но никогда не опускается.



**Рис. 11.5.** График пути некоторого тела, движущегося неравномерно (соответствует графику скорости движения, представленному на [рис. 11.3](#))

#### 4 Учимся решать задачи

**Задача.** Полтора часа мальчик ехал на велосипеде со скоростью 20 км/ч. Потом велосипед сломался, и последний километр пути мальчик шел пешком. Какой была средняя скорость движения мальчика на всем пути, если пешком он шел полчаса?

**Анализ физической проблемы.** Выполним пояснительный [рисунок](#). Для определения средней скорости движения нужно найти путь, который преодолел мальчик, и время его движения. Время движения выражено в часах, путь — в километрах, поэтому среднюю скорость движения найдем в километрах в час.



**Дано:**

$$t_1 = 1,5 \text{ ч}$$

$$t_2 = 0,5 \text{ ч}$$

$$v_1 = 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$l_2 = 1 \text{ км}$$

$$v_{\text{ср}} = ?$$

*Поиск математической модели, решение.*

По определению:  $v_{\text{ср}} = \frac{l}{t}$ .

Путь  $l$ , который преодолел мальчик, равен:  $l = l_1 + l_2$ , где  $l_1 = v_1 t_1$  — путь, который он проехал на велосипеде;  $l_2$  — путь, пройденный пешком.

Все время, затраченное на путешествие:  $t = t_1 + t_2$ .

Подставив выражения для  $l$  и  $t$  в формулу средней скорости движения, получим:

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2} = \frac{v_1 \cdot t_1 + l_2}{t_1 + t_2}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$\left[ v_{\text{ср}} \right] = \frac{\frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \text{ч} + \text{км}}{\text{ч} + \text{ч}} = \frac{\text{км}}{\text{ч}}; \quad v_{\text{ср}} = \frac{1,5 \cdot 20 + 1}{1,5 + 0,5} = \frac{31}{2} = 15,5 \left( \frac{\text{км}}{\text{ч}} \right).$$

**Анализ результатов.** Мальчик ехал на велосипеде со скоростью 20 км/ч, шел пешком со скоростью  $v_2 = \frac{l_2}{t_2} = 2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ; найденная средняя скорость его движения меньше 20 км/ч и больше 2 км/ч. Результат правдоподобен.

**Ответ:**  $v_{\text{ср}} = 15,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ .



### Подводим итоги

Неравномерное движение — это движение, при котором тело за равные интервалы времени проходит разный путь.

Виды механического движения: по форме траектории — прямолинейное и криволинейное; по зависимости скорости движения от времени — равномерное и неравномерное.

Средняя скорость движения тела равна отношению всего пути, пройденного телом, к интервалу времени, за который этот путь пройден:

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t}.$$



### Контрольные вопросы

1. Какое движение называют неравномерным? Приведите примеры.
2. Назовите виды механического движения. Приведите примеры.
3. Дайте определение средней скорости движения тела. Как ее вычислить?
4. Как по графику скорости движения тела вычислить путь, пройденный телом за определенный интервал времени?



### Упражнение № 11

1. Приведите примеры: а) прямолинейного равномерного движения; б) прямолинейного неравномерного движения; в) криволинейного равномерного движения; г) криволинейного неравномерного движения.
2. Мальчик вышел из школы и пошел домой. Первый километр пути он прошел за 0,2 ч, а оставшиеся 2 км его подвез на велосипеде друг, затратив на это 0,1 ч. С какой средней скоростью двигался мальчик?
3. Поезд за 1 ч прошел 60 км. Затем он ехал еще 30 мин со скоростью 90 км/ч. Определите среднюю скорость движения поезда.

4. По графику пути тела (см. рис. 11.5) определите среднюю скорость движения тела: а) за первые 15 с наблюдения; б) за первые 20 с наблюдения; в) за последние 10 с наблюдения.
5. Первую половину времени полета самолет двигался со скоростью 600 км/ч, а остальное время — со скоростью 800 км/ч. Найдите среднюю скорость движения самолета.
6. Первую половину пути автомобиль двигался со скоростью 60 км/ч, а вторую половину — со скоростью 100 км/ч. Найдите среднюю скорость движения автомобиля.
7. На рис. 1 представлен график скорости движения автомобиля.

- а) опишите, как двигался автомобиль;
- б) определите путь, который проехал автомобиль;
- в) узнайте, сколько времени автомобиль двигался с постоянной скоростью;
- г) определите среднюю скорость движения автомобиля за первую минуту наблюдения; за все время наблюдения;
- д) приведите примеры такого движения автомобиля.

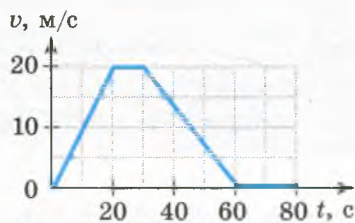


Рис. 1

8. Найдите карту железных дорог вашей области и расписание движения любой пригородной электрички. Воспользовавшись этими данными, определите средние скорости движения электрички в обоих направлениях; между несколькими промежуточными станциями.

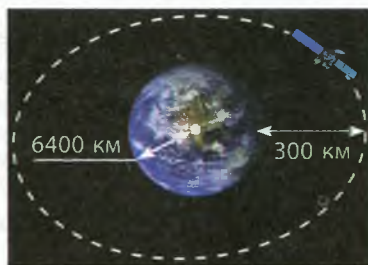


Рис. 2

9. Определите длину круговой орбиты искусственного спутника Земли, воспользовавшись данными рис. 2.



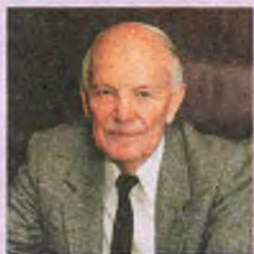
### Экспериментальные задания

1. «Мое движение». Определите среднюю скорость, с которой вы обычно двигаетесь из дома в школу.

2. «Резиновый двигатель». Сделайте «резиновый двигатель» (см. рисунок). С помощью карандаша закрутите резинку и положите катушку на горизонтальную поверхность. Опишите наблюдаемое движение. Что можно «прочитать» по следу карандаша? Определите среднюю скорость движения катушки во время работы «резинового двигателя».



## **Физика и техника в Украине**



**Борис Евгеньевич Патон** родился в 1918 г. в Киеве. Мировую славу ему принесли исследования в области электродуговой сварки и создание сварочных автоматов, используемых в различных отраслях промышленности и строительства.

В 1953 году Б. Е. Патон стал директором Института электро-сварки имени Е. О. Патона (Киев). Ученый возглавил исследования, в результате которых сформировалось совершенно новое направление в современной металлургии, получившее признание во всем мире.

Под руководством Б. Е. Патона создан электрошлаковый процесс для повышения качества нержавеющей сталей, начата сварка в космосе. Ученый предложил и реализовал на практике способ соединения (сварки) живых тканей во время хирургических операций. Эта методика сохранила жизнь тысячам больных и сейчас используется во всем мире.

В 1958 г. ученый был избран действительным членом Академии наук Украины, а с 1962 г. является ее неизменным президентом.

## **§ 12. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПО ОКРУЖНОСТИ. ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ**

Более 5000 лет назад жрецы древнего Вавилона, наблюдая за Луной, определили такой хорошо известный нам интервал времени, как неделя. Как они это сделали? В чем особенность движения Луны? Встречается ли на Земле подобное движение? В данном параграфе вы найдете ответы на эти и многие другие вопросы.

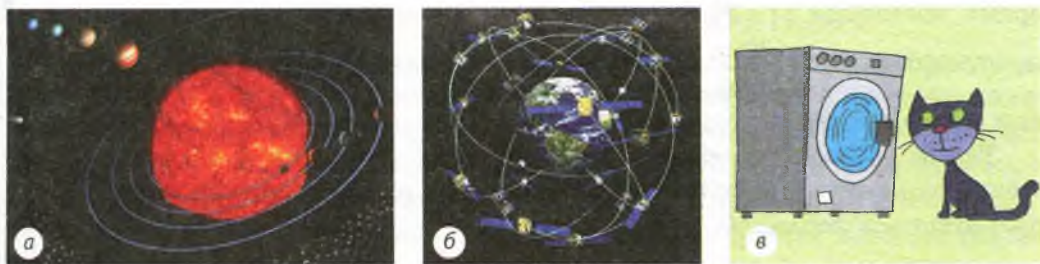
### **1 Знакомимся с движением по окружности**

Попробуйте представить линию, вдоль которой движутся ребенок, кружащийся на карусели, носок в барабане стиральной машины во время отжима, кончик ножа блендера при изготовлении коктейля или смузи. Уверены, что вы легко определили: этой линией является окружность. Итак, в перечисленных случаях имеем дело с *движением по окружности*; простейшим является равномерное движение по окружности. Далее, говоря о равномерном движении по окружности любого физического тела, будем считать это тело материальной точкой.

Равномерно по окружности движутся, например, кабинки колеса обозрения. Близким к равномерному движению по окружности является движение планет вокруг Солнца (рис. 12.1, а), естественного спутника (Луны) или искусственных спутников вокруг Земли\* (рис. 12.1, б).

**?** Приведите примеры движения по окружности. В каких случаях это движение можно считать равномерным? Можно ли считать движение точек обода колеса велосипеда относительно его рамы равномерным движением по окружности? Обоснуйте свой ответ.

\* Точнее — планеты и спутники движутся по эллиптическим орбитам.



**Рис. 12.1.** Примеры движения по окружности: *а* — движение планет вокруг Солнца; *б* — движение искусственных спутников вокруг Земли; *в* — движение носка в барабане стиральной машины во время отжима

**Равномерное движение материальной точки по окружности** — это такое криволинейное движение, при котором точка, двигаясь по круговой траектории, за любые равные интервалы времени проходит одинаковый путь.

## 2 Определяем период вращения

Равномерное движение по окружности — это *периодическое движение*, то есть движение, повторяющееся через определенные равные интервалы времени. Например, кончик секундной стрелки часов, двигаясь равномерно вдоль циферблата, повторяет свое движение через каждые 60 с (рис. 12.2).

Любое периодическое движение характеризуется такими физическими величинами, как *период* и *частота*. При равномерном движении по окружности говорят о *периоде вращения* и *частоте вращения*.

**Период вращения** — это физическая величина, равная времени, за которое материальная точка, равномерно движущаяся по окружности, совершает один оборот.

Период вращения обозначают символом  $T$ .  
Единица периода вращения в СИ — секунда:

$$[T] = \text{с}.$$

*Период вращения равен одной секунде, если за одну секунду совершается один оборот.*

Кончик секундной стрелки часов совершает один оборот за 60 с, поэтому период его вращения, как и каждой точки секундной стрелки, равен 60 с ( $T = 60 \text{ с}$ ).

Подумайте, каковы периоды вращения точек минутной и часовой стрелок часов.

Когда взбивают молочный коктейль блендером, каждая точка его ножа за 30 с делает 6000 оборотов (рис. 12.3). Чтобы определить *время одного оборота*, нужно



**Рис. 12.2.** Движение точек на стрелках часов — периодическое движение

время вращения ( $t = 30$  с) разделить на количество оборотов за это время ( $N = 6000$ ):  $T = \frac{30 \text{ с}}{6000} = 0,005 \text{ с} = 5 \text{ мс}$ . То есть период вращения  $T$  точек ножа блендера равен 5 мс.

Таким образом, чтобы определить период вращения  $T$ , следует подсчитать количество оборотов  $N$ , совершенных за интервал времени  $t$ , и воспользоваться формулой:

$$T = \frac{t}{N}$$

### 3 Определяем частоту вращения

Указывая технические характеристики устройств, используют не период вращения, а частоту вращения (рис. 12.4).

**Частота вращения** — это физическая величина, которая равна количеству оборотов за единицу времени.

Частоту вращения обозначают символом  $n$  и определяют по формуле:

$$n = \frac{N}{t},$$

где  $t$  — время вращения;  $N$  — количество оборотов за данное время.

Единица частоты вращения в СИ — оборот в секунду:

$$[n] = \frac{\text{об}}{\text{с}} = \frac{1}{\text{с}}.$$

Учитывая, что  $T = \frac{t}{N}$ , а  $n = \frac{N}{t}$ , приходим к выводу, что период вращения и частота вращения являются взаимно обратными величинами:

$$n = \frac{1}{T}; T = \frac{1}{n}$$

Чем больше период вращения тела, тем меньше его частота вращения, и наоборот.

🔴 Попробуйте рассчитать частоту, с которой вращаются точки ножа блендера (см. рис. 12.3).



**Рис. 12.3.** Точки ножа блендера за минуту осуществляют 12 тысяч оборотов



**Рис. 12.4.** Частота вращения кулеров современных процессоров составляет 50–60 оборотов в секунду

**4 Узнаем, как возникли единицы времени: сутки и неделя**

Как измерить время? Ответ на этот вопрос подсказала людям сама природа. Дело в том, что многие движения, происходящие в природе, являются периодическими, а период такого движения может служить единицей времени. Например, вращение Земли вокруг своей оси — периодическое движение. Ежедневный восход (закат) Солнца, обусловленный этим движением, подсказал нашим предкам единицу времени *сутки*, которые равны периоду вращения Земли вокруг своей оси.

Несколько единиц времени были получены в древнем Вавилоне. Наблюдая за ночным небом, жрецы заметили, что «молодая» Луна появляется на небосклоне приблизительно каждые 28 суток. Периодическое рождение лунного диска служило своего рода вечными «часами». Так возникла единица времени *месяц*\*. За это время Луна, вращаясь вокруг Земли, проходит полный цикл изменения фаз: новолуние, первая четверть, полнолуние, последняя четверть (рис. 12.5). Именно поэтому жрецы разделили лунный месяц на четыре части (по количеству лунных фаз) и получили семь дней — единицу времени, которая называется *неделя*.

**\* 5 Определяем скорость равномерного движения по окружности**

Кроме периода вращения и его частоты важной характеристикой движения по окружности является скорость движения. Если тело равномерно движется по окружности, то за время, равное периоду вращения ( $t = T$ ), тело совершает один оборот, то есть проходит путь, равный длине окружности. Длину окружности  $l$  можно вычислить по известной вам из математики формуле:  $l = 2\pi R$ , где  $\pi = 3,14$  — математическая константа;  $R$  — радиус окружности.

Зная путь и время, за которое этот путь пройден, получаем формулу для расчета скорости равномерного движения по окружности:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T}$$




**Рис. 12.5.** В древности начало и конец месяца определяли по фазам Луны.

(Изображение Луны на внешней окружности — это то, какой мы видим Луну с Земли.)

\* Сейчас, как правило, используют понятие *календарного месяца*, который не зависит от фаз Луны и длится от 28 до 31 суток.



Именно об этой скорости идет речь, когда, например, определяют скорость движения человека, кружащегося на карусели, говорят о скорости полета искусственных спутников Земли и т. д. 



### Подводим итоги

Равномерное движение материальной точки по окружности — это такое криволинейное движение, при котором точка, двигаясь по круговой траектории, за любые равные интервалы времени проходит одинаковый путь. Равномерное движение по окружности — это периодическое движение, то есть движение, повторяющееся через определенные одинаковые интервалы времени.

Период вращения  $T$  — физическая величина, равная времени, в течение которого материальная точка, равномерно движущаяся по окружности, совершает один оборот. Единица периода вращения в СИ — секунда (с).

Частота вращения  $n$  — это физическая величина, которая равна количеству оборотов за единицу времени. Единица частоты вращения в СИ — оборот в секунду (об/с, или 1/с).

Период вращения  $T$  и частоту вращения  $n$  определяют по формулам:

$T = \frac{t}{N}$ ;  $n = \frac{N}{t}$ , где  $t$  — время наблюдения;  $N$  — количество оборотов за это время. Частота вращения и период вращения — взаимно обратные величины:  $n = \frac{1}{T}$ .



### Контрольные вопросы

1. Какое движение называют равномерным движением по окружности?
2. Какое движение называют периодическим? Почему равномерное движение по окружности является периодическим?
3. Какие физические величины характеризуют периодическое движение?
4. Дайте определение периода вращения.
5. Как вычислить период вращения?
6. Дайте определение частоты вращения.
7. Как вычислить частоту вращения, если известен период вращения?
8. Наблюдение за каким процессом послужило причиной появления таких единиц времени, как месяц и неделя?



### Упражнение № 12

1. За 18 секунд колесо автомобиля сделало 24 оборота. Определите период вращения точки на ободе колеса.
2. Какова частота вращения точек патрона электродрели, если за минуту патрон совершает 900 оборотов?
3. На лопасть отключенного вентилятора прикрепили маленькую наклейку со смайликом. С какой частотой будет вращаться смайлик, если лопасти вентилятора будут совершать один оборот за 0,2 с?
4. Известно, что вентилятор микропроцессора персонального компьютера вращается с частотой 3600 об/мин. Определите период вращения точек лопастей вентилятора.

5. Мальчик кружился на карусели 5 мин. За это время он совершил 100 оборотов. В каком случае можно утверждать, что период вращения мальчика был равен 3 с? Ответ обоснуйте.
6. Четыре шестерни скреплены зубцами так, как показано на рис. 1. Шестерня 1 имеет 9 зубцов, шестерня 2 — 15 зубцов, шестерня 3 — 8 зубцов, шестерня 4 — 16 зубцов. Шестерни 2 и 3 закреплены на общем валу. Определите период вращения шестерни 4, если частота вращения шестерни 1 равна 5 об/с.
- \*7. Скорость движения диска «болгарки» (рис. 2) в точке соприкосновения с обрабатываемой поверхностью должна быть не менее 80 м/с. Какими при такой скорости будут частота вращения и период вращения диска, если его диаметр равен 160 мм?
- \*8. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, сравните средние радиусы орбит планет — Венеры, Земли, Марса, а также периоды их вращения вокруг Солнца. Определите скорости движения этих планет относительно Солнца. Подготовьте презентацию.



Рис. 1



Рис. 2



### Экспериментальное задание

«Вращение в быту». Вместе со взрослыми определите период вращения и частоту вращения стакана с жидкостью, подогреваемой в СВЧ-печи. Какие измерения вы осуществили, чтобы выполнить задание? \* Определите скорость, с которой вращается стакан, стоящий на краю поворотного столика СВЧ-печи.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

**Тема.** Измерение периода и частоты вращения.

**Цель:** измерить период и частоту вращения тела при его равномерном движении по окружности.

**Оборудование:** пластиковый шарик или другое небольшое тело (пуговица, ключ и т. п.), которое можно легко закрепить на нити; лист бумаги с изображением окружности радиусом 15 см; крепкая нерастяжимая нить длиной 50–60 см; секундомер; линейка.

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

## II Подготовка к эксперименту

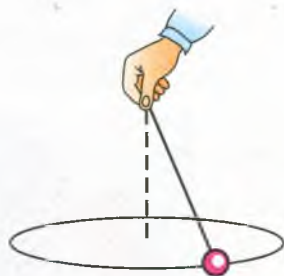
- Убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы.
  - Какое движение называют равномерным движением по окружности?
  - По какой формуле вычисляют период равномерного движения тела по окружности? По какой формуле вычисляют частоту вращения?
- Прикрепите шарик (или другое небольшое тело) к нити. На свободном конце нити сделайте петлю, за которую вы будете держать нить, вращая тело в горизонтальной плоскости.

## Эксперимент

Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац).

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

- Возьмите за петлю нить с телом. Расположите руку над центром изображенной окружности. Не меняя положения руки, заставьте тело двигаться так, чтобы траектория его движения совпадала с окружностью.
- Измерьте время  $t$ , за которое тело выполняет 10 оборотов; 15 оборотов.



№ опыта	Время движения $t$ , с	Количество оборотов $N$	Период вращения $T$ , с	Частота вращения $n$ , об/с

## Обработка результатов эксперимента

Определите период и частоту вращения тела при его равномерном движении по окружности. Результаты занесите в таблицу.

## Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент, сделайте вывод, в котором укажите: 1) какое движение вы изучали; 2) значение каких величин определяли; 3) какие результаты получили; 4) какие факторы влияли на точность результатов.

## Творческое задание

В плохо освещенном помещении благодаря особенностям зрения человек может различать события как отдельные, если интервал времени между ними составляет более 0,2–0,3 с. С какой частотой нужно двигать по окружности «бенгальский огонь», чтобы увидеть светящееся кольцо?

## Задание «со звездочкой»

Запишите результаты измерения периода вращения тела в виде:  $T = T_{\text{изм}} \pm \Delta T$ . Считайте, что  $\Delta t = 0,2$  с, а  $\Delta T < \Delta t$  во столько раз, сколько оборотов выполнило тело.

## § 13. КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ. АМПЛИТУДА, ПЕРИОД И ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ

Еще в древности люди, наблюдая за Солнцем и Луной, определили единицы времени: год, месяц, сутки и др. Были созданы солнечные часы, затем водяные, огневые, песочные. Однако настоящая революция в конструкции часов произошла после выяснения свойств колебательного движения. Каких именно — узнаете из данного параграфа.

### 1 Знакомимся с колебательным движением

Подвесим груз на нить, отклоним его от *положения равновесия* и отпустим. Груз начнет *колебаться*, то есть двигаться от одного крайнего положения к другому, повторяя это движение через некоторый интервал времени. Таким образом, колебательное движение имеет важную общую черту с равномерным движением по окружности: оба движения являются периодическими (рис. 13.1).

### 2 Изучаем маятники

Груз, колеблющийся на нити или на пружине, — пример простейшего маятника.

**Маятник** — это твердое тело, которое совершает колебания вследствие притяжения к Земле или в результате действия пружины.

Маятники используют во многих физических приборах. Особенно важным является использование маятников в часах: периодичность колебаний дает возможность осуществлять отсчет времени.

Маятники, колеблющиеся благодаря действию пружины, называют *пружинными маятниками* (рис. 13.2). Колебания пружинного маятника зависят от свойств пружины и массы тела.

Маятники, колеблющиеся благодаря притяжению к Земле, называют *физическими маятниками* (рис. 13.3). Их колебания достаточно сложны, поскольку зависят от массы, геометрических размеров, формы маятника и т. д.

Чтобы размеры и форма тела не влияли на его колебания, нужно взять нить, длина которой достаточно велика по сравнению с размерами тела, — в таком случае тело можно считать материальной точкой. При этом нить должна быть легкой и довольно тонкой, а чтобы во время колебаний тело было на неизменном расстоянии от точки подвеса, — нерастяжимой.

Небольшой металлический шарик диаметром 1–2 см, подвешенный на тонкой нерастяжимой нити длиной 1–2 м, вполне может служить



Рис. 13.1. Колебательное движение — это периодическое движение

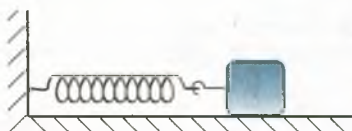


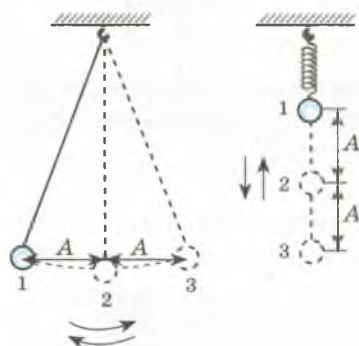
Рис. 13.2. Пример простейшего пружинного маятника



**Рис. 13.3.** Примеры физических маятников



**Рис. 13.4.** Металлический шарик на длинной нерастяжимой нити достаточно удобен для изучения основных свойств колебаний



**Рис. 13.5.** Движение шарика от положения 1 к положению 3 (через положение 2), а потом снова к положению 1 — это одно колебание;  $A$  — амплитуда колебаний

маятником, на колебания которого не будут влиять размеры, масса тела и свойства нити (рис. 13.4)\*. Такой маятник называют нитяным.

### 3 Узнаем об амплитуде колебаний

Наблюдая за колебаниями маятника, нетрудно заметить, что есть определенное максимальное расстояние, на которое колеблющееся тело удаляется от положения равновесия. Это расстояние называют *амплитудой колебаний* (рис. 13.5).

**Амплитуда колебаний** — это физическая величина, равная максимальному расстоянию, на которое отклоняется тело от положения равновесия во время колебаний.

Амплитуду колебаний обозначают символом  $A$ . Единица амплитуды колебаний в СИ — метр:  $[A] = \text{м}$ .

За одно колебание тело проходит путь  $l_0$ , который примерно равен *четырем амплитудам*:  $l_0 = 4A$ \*\*.

### 4 Определяем период и частоту колебаний

Колебательное движение является периодическим движением, поэтому оно характеризуется такими физическими величинами, как *период колебаний* и *частота колебаний*.

\* В данном случае длина нити считается также *длиной маятника*.

\*\* В случае с нитяным маятником данное равенство является приблизительным, так как тело движется по дуге окружности, длина которой больше расстояния, называемого амплитудой колебаний. Но если амплитуда колебаний мала (намного меньше длины маятника), этим различием обычно пренебрегают.

**Период колебаний** — это физическая величина, равная времени, за которое происходит одно колебание.

Период колебаний, как и период равномерного движения по окружности, обозначают символом  $T$  и вычисляют по формуле:

$$T = \frac{t}{N},$$

где  $t$  — время наблюдения;  $N$  — количество колебаний за это время.

Единица периода колебаний в СИ — секунда:  $[T] = \text{с}$ .

**Частота колебаний** — это физическая величина, которая равна количеству колебаний за единицу времени.

Частоту колебаний обозначают символом  $\nu$  («ню») и вычисляют по формуле:

$$\nu = \frac{N}{t}$$

Единица частоты колебаний в СИ — герц (Гц); названа так в честь Генриха Герца (рис. 13.6).

Если тело за одну секунду осуществляет одно колебание, то частота его колебаний равна одному герцу:  $1 \text{ Гц} = \frac{1}{\text{с}}$ .

Частота  $\nu$  и период  $T$  колебаний — взаимно обратные величины:

$$\nu = \frac{1}{T}$$



**Рис. 13.6.** Генрих Рудольф Герц (1857–1894) — немецкий физик, один из основателей теории электрических колебаний

У маятников есть очень важное свойство: *если амплитуда колебаний маятника намного меньше его длины, то частота и период колебаний маятника не зависят от амплитуды колебаний.*

Это свойство малых колебаний открыл Галилео Галилей\*, и именно оно лежит в основе работы механических часов.

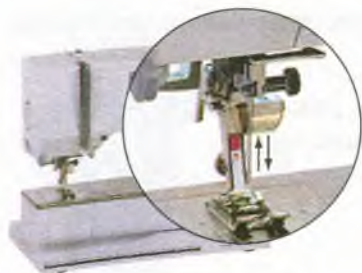
## 5 Различаем затухающие и незатухающие колебания

Выведем качели из состояния равновесия и отпустим. Качели начнут колебаться. Такие колебания называют **свободными**.

Если на качели не влиять, то через некоторое время амплитуда их колебаний заметно уменьшится, а со временем колебания прекратятся вовсе.

Колебания, амплитуда которых со временем уменьшается, называют **затухающими колебаниями**.

\* Галилео Галилей сделал это открытие, наблюдая в храме колебания люстры, подвешенной на цепи, и сравнивая частоту этих колебаний с частотой собственного пульса.



**Рис. 13.7.** Колебания иглы швейной машины — пример незатухающих колебаний

Свободные колебания всегда являются затухающими. Затухают с течением времени свободные колебания языка колокола, струны гитары, ветки дерева...

**?** Что следует сделать, чтобы амплитуда колебаний качелей со временем не уменьшалась, то есть чтобы их колебания были незатухающими?

**Незатухающие колебания** — это колебания, амплитуда которых не изменяется со временем.

Незатухающие колебания осуществляет, например, игла швейной машины, пока работает ее механизм (рис. 13.7).

**6 Учимся решать задачи**

**Задача.** Небольшой тяжелый шарик, подвешенный на нерастяжимой нити длиной 1 м, отклонили от положения равновесия и отпустили. За 30 с шарик совершил 15 колебаний. Какое расстояние пройдет шарик за 36 с, если амплитуда его колебаний — 5 см? Колебания считайте незатухающими.

*Анализ физической проблемы.* Амплитуда колебаний намного меньше длины нити, поэтому можно считать, что за одно колебание шарик проходит путь, равный четырем амплитудам ( $4A$ ).

Если определить количество колебаний за 36 с, то можно найти расстояние, которое прошел шарик. Количество колебаний найдем, определив время одного колебания, то есть период колебаний.

**Дано:**  
 $t_1 = 30$  с  
 $N_1 = 15$   
 $t_2 = 36$  с  
 $A = 5$  см

**Найти:**  
 $l$  — ?

*Поиск математической модели, решение.*

Найдем период колебаний:  $T = \frac{t_1}{N_1} = \frac{30 \text{ с}}{15} = 2 \text{ с}.$

Найдем количество колебаний за 36 с:  $N_2 = \frac{t_2}{T} = \frac{36 \text{ с}}{2 \text{ с}} = 18.$

Определим расстояние, которое проходит шарик за одно колебание:  $l_0 = 4A = 4 \cdot 5 \text{ см} = 20 \text{ см}.$

Определим путь, который пройдет шарик за 36 с:  
 $l = N_2 \cdot l_0 = 18 \cdot 20 \text{ см} = 360 \text{ см} = 3,6 \text{ м}.$

*Анализ результатов.* За одно колебание шарик проходит 20 см; время колебаний больше периода колебаний, поэтому пройденное шариком расстояние будет больше 20 см. Следовательно, результат правдоподобен.

**Ответ:**  $l = 3,6 \text{ м}.$

**Подводим итоги**

Колебательное движение (колебания) — периодическое движение. Различают затухающие и незатухающие колебания.

Амплитуда  $A$  колебаний — это физическая величина, равная максимальному расстоянию, на которое тело отклоняется от положения равновесия во время колебаний.

Период  $T$  колебаний — это физическая величина, равная времени, за которое происходит одно колебание:  $T = \frac{t}{N}$ . Единица периода колебаний в СИ — секунда (с). Частота  $\nu$  колебаний — это физическая величина, равная количеству колебаний за единицу времени:  $\nu = \frac{N}{t}$ . Единица частоты колебаний в СИ — герц (Гц).

Частота и период колебаний — взаимно обратные величины:  $\nu = \frac{1}{T}$ .

**Контрольные вопросы**

**1.** Почему колебательное движение является периодическим? **2.** Приведите примеры колебаний. **3.** Приведите примеры маятников. **4.** Дайте определения амплитуды, периода, частоты колебаний. В каких единицах измеряют эти физические величины? **5.** Какая зависимость связывает частоту и период колебаний? **6.** Какие колебания называют затухающими? незатухающими?

**Упражнение № 13**

- Во время колебаний тело движется от крайнего левого положения до крайнего правого. Расстояние между этими двумя положениями равно 4 см. Определите амплитуду колебаний тела.
- За минуту маятник совершает 30 колебаний. Определите период колебаний маятника.
- Период колебаний равен 0,5 с. Определите частоту колебаний.
- Сколько колебаний совершит тело за 2 мин, если частота его колебаний равна 4 Гц?
- Приведите не упомянутые в параграфе примеры колебательных движений. Определите, какие это колебания: затухающие или незатухающие.
- Поплавок, колеблющийся на воде, за 3 секунды поднимается и ныряет 6 раз. Какой путь пройдет поплавок за минуту, если расстояние между его крайними положениями равно 5 см?
- Чтобы ответить на вопрос «Который час?», люди издавна пользовались самыми разнообразными устройствами. Одно из них — маятниковые часы. Узнайте об истории их создания и подготовьте сообщение.

**Экспериментальное задание**

«Резонанс». К небольшому тяжелому телу привяжите нить длиной 45–50 см. Одной рукой возьмите нить за свободный конец, а другой отклоните тело от положения равновесия. Маятник начнет колебаться. Определите частоту его свободных колебаний.





Остановите маятник. Затем начните очень медленно двигать рукой с маятником из одной стороны в другую (см. рисунок). Следите, чтобы амплитуда колебаний руки не изменялась; руку достаточно перемещать на 1–2 см. Постепенно увеличивайте частоту колебаний руки и наблюдайте за маятником. «Поймайте» момент, когда маятник раскачается очень сильно, то есть возникнет *резонанс* — явление резкого возрастания амплитуды колебаний. Определите частоту колебаний руки, когда амплитуда колебаний маятника наибольшая. Узнайте, при каком условии наступает резонанс, сравнив найденные значения частоты свободных колебаний маятника и частоты колебаний руки.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

**Тема.** Исследование колебаний нитяного маятника.

**Цель:** убедиться на опыте, что период колебаний нитяного маятника не зависит от амплитуды его колебаний и массы груза, но зависит от длины нити.

**Оборудование:** два небольших тяжелых шарика известных масс; две прочные нерастяжимые нити длиной 1,05–1,1 м; линейка (мерная лента); штатив с муфтой и кольцом; секундомер.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



#### Подготовка к эксперименту

1. Убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы:
  - 1) Что называют амплитудой колебаний?
  - 2) По какой формуле можно вычислить период колебаний?
2. Определите цену деления шкалы линейки.
3. Запишите значения масс шариков в табл. 2.
4. Закрепите шарики на нитях.



#### Эксперимент. Обработка результатов эксперимента

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац).*

1. Установите на краю стола штатив. Возле его верхнего конца закрепите с помощью муфты кольцо и подвесьте к нему один из шариков на нити так, чтобы длина полученного маятника была 1 м. Передвигая муфту вдоль штатива, установите ее на такой высоте, чтобы шарик находился на расстоянии 3–5 см от расположенной на полу линейки (см. рисунок).
2. Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от его амплитуды. Для этого:
  - 1) отклонив маятник на расстояние 2–3 см от положения равновесия и отпустив, измерьте время, за которое маятник совершит 20 колебаний; определите период колебаний;
  - 2) повторите опыт, увеличив амплитуду колебаний до 5–6 см;



3) результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Номер опыта	Длина нити $l$ , м	Амплитуда колебаний $A$ , м	Число колебаний $N$	Время колебаний $t$ , с	Период колебаний $T$ , с
1	1				
2	1				

3. Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от его массы. Для этого:

- 1) перенесите из табл. 1 в табл. 2 результаты опыта № 1;
- 2) повторите опыт для второго маятника (другой массы); амплитуда колебаний должна составлять 2–3 см. *Обратите внимание:* длины первого и второго маятников должны быть одинаковыми.
- 3) результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.

Таблица 2

Номер опыта	Длина нити $l$ , м	Масса шарика $m$ , кг	Число колебаний $N$	Время колебаний $t$ , с	Период колебаний $T$ , с
1	1				
3	1				

4. Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от его длины. Для этого:

- 1) перенесите из табл. 1 в табл. 3 результаты опыта № 1;
- 2) повторите опыт, уменьшив длину первого маятника до 25 см; амплитуда колебаний должна составлять 2–3 см;
- 3) результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.

Таблица 3

Номер опыта	Длина нити $l$ , м	Число колебаний $N$	Время колебаний $t$ , с	Период колебаний $T$ , с
1	1			
4	0,25			

### ■ Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав результаты, сделайте вывод, в котором укажите: 1) какие величины вы научились измерять; 2) какие факторы повлияли на точность полученных результатов; 3) зависит ли период колебаний маятника от амплитуды колебаний, массы груза, длины маятника.

### + Творческое задание

Не выполняя измерений, определите период колебаний маятника длиной 4 м, амплитуда колебаний которого равна 10 см, а масса — 300 г. Считайте, что маятник расположен в том же кабинете, где вы выполняли лабораторную работу. Свой ответ обоснуйте.

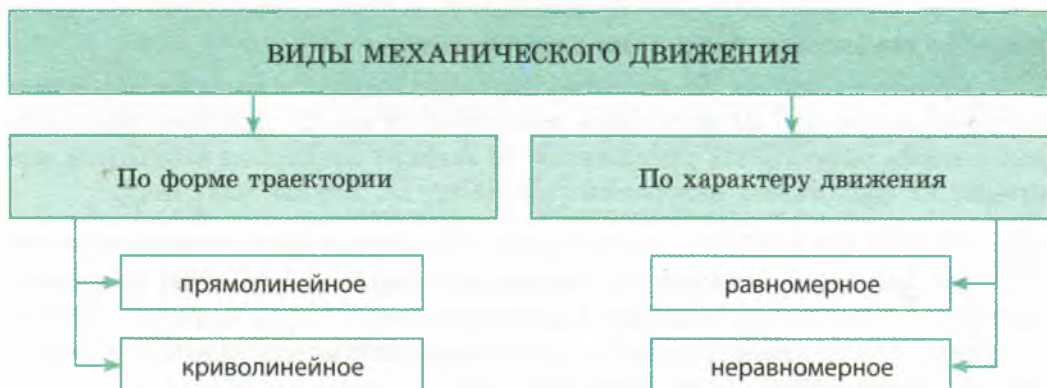
## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 2 «Механическое движение»

В разделе 2 вы изучали *механическое движение и его характеристики*, узнали о *видах механического движения*: прямолинейное движение, движение по окружности, колебательное движение.

1. Вы ознакомились с некоторыми основными понятиями механики.



2. Вы научились различать *виды механического движения*.



3. Вы научились исследовать *равномерное движение* с помощью *графиков пути и графиков скорости движения*.

График скорости движения	График пути	Связь между графиком скорости движения и путем
		<p>Путь численно равен площади фигуры под графиком скорости движения</p>

4. Вы исследовали некоторые *механические движения*.

Форма траектории	Физические величины, характеризующие механическое движение		
	путь $l$ [ $l$ ]=м	время движения $t$ [ $t$ ]=с	скорость движения $v$ [ $v$ ]=м/с
Равномерное движение			
Любая линия	$l = vt$	$t = \frac{l}{v}$	$v = \frac{l}{t}$
Равномерное прямолинейное движение			
Прямая линия	$l = s = vt$	$t = \frac{l}{v} = \frac{s}{v}$	$v = \frac{l}{t} = \frac{s}{t}$
Неравномерное движение			
Любая линия	$l = l_1 + l_2 + \dots + l_n$	$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$	$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$

Форма траектории	Физические величины, характеризующие периодическое механическое движение		
	период $T$ [ $T$ ]=с	частота $n$ или $\nu$ [ $n$ ]=об/с; [ $\nu$ ]=Гц	путь за период $l$ [ $l$ ]=м
Равномерное движение по окружности			
Окружность	$T = \frac{t}{N}, T = \frac{1}{n}$	$n = \frac{N}{t}, n = \frac{1}{T}$	$l = 2\pi R$ , где $R$ — радиус окружности
Колебательное движение			
Отрезок прямой, дуга окружности	$T = \frac{t}{N}, T = \frac{1}{n}$	$\nu = \frac{N}{t}, \nu = \frac{1}{T}$	$l_0 = 4A$ , где $A$ — амплитуда колебаний

**Задания для самопроверки к разделу 2  
«Механическое движение»**

*В заданиях 1–9 выберите один правильный ответ.*

1. (1 балл) Поезд, движущийся от одной станции к другой, находится в состоянии покоя относительно:  
а) центра Земли;  
б) пассажира, сидящего в кресле вагона;  
в) точек на ободе колеса вагона;  
г) рельсов, по которым он движется.
2. (1 балл) Скорость равномерного движения — это физическая величина, которая равна:  
а) произведению пути, пройденного телом, и времени движения;  
б) отношению времени движения к пути, пройденному телом;  
в) половине суммы начальной и конечной скоростей движения;  
г) отношению пути, пройденного телом, ко времени движения.
3. (1 балл) Частота вращения — это физическая величина, которая численно равна:  
а) времени одного оборота;  
б) количеству оборотов за единицу времени;  
в) количеству оборотов за все время движения;  
г) времени, за которое тело осуществляет 10 оборотов.
4. (1 балл) Период малых колебаний нитяного маятника:  
а) зависит от длины нити;  
б) зависит от массы груза;  
в) зависит от амплитуды колебаний;  
г) не зависит от земного притяжения.
5. (2 балла) Космический корабль в течение 20 с двигался со скоростью 10 000 м/с. Какое расстояние преодолел корабль за это время?  
а) 5 км; б) 20 км; в) 200 км; г) 500 км.
6. (2 балла) Поезд движется со средней скоростью 40 м/с. Сколько времени займет путь между двумя городами, если расстояние между ними 624 км?  
а) 1 ч 34 мин; б) 4,2 ч; в) 4 ч 20 мин; г) 15,6 ч.
7. (2 балла) Винт вертолета за 0,5 минуты осуществляет 600 оборотов. Чему равен период вращения винта?  
а) 0,8 мс; б) 50 мс; в) 5 с; г) 2 мин.
8. (2 балла) Частота колебаний нитяного маятника равна 2 Гц. Сколько колебаний совершит этот маятник за 1 мин?  
а) 0,5; б) 2; в) 30; г) 120.
9. (2 балла) Полчаса мальчик ехал на велосипеде со скоростью 24 км/ч, а потом шел 6 км со скоростью 4 км/ч. Определите среднюю скорость движения мальчика на всем пути.  
а) 9 км/ч; б) 14 км/ч; в) 20 км/ч; г) 28 км/ч.

10. (3 балла) По графику зависимости пути от времени для равномерного движения (рис. 1) определите скорость движения тела. Ответ представьте в м/с и км/ч.

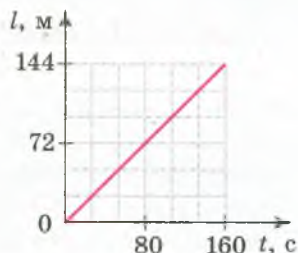


Рис. 1

11. (3 балла) В кают-компаниии судна, совершающего морское путешествие в 250 км, расположены часы. Сколько колебаний совершит маятник часов за время путешествия, если период его колебаний равен 0,5 с, а средняя скорость движения судна — 10 м/с?

12. (3 балла) Турист шел по горной тропе, двигаясь со скоростью 2 км/ч, а потом вернулся на место своего старта, двигаясь со скоростью 6 км/ч. Какой была средняя скорость движения туриста на всем пути?

13. (4 балла) Используя данные рис. 2, определите, через какое время встретятся автомобили.

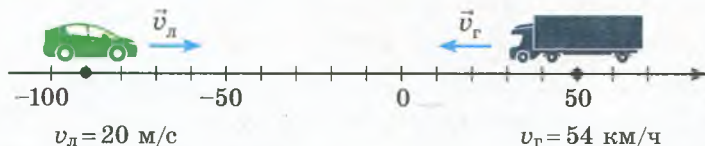


Рис. 2

14. (4 балла) На рис. 3 приведен график скорости движения автомобиля. Определите максимальную скорость движения автомобиля и весь путь, который он преодолел.

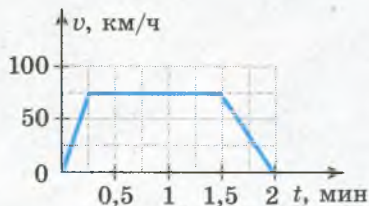


Рис. 3

15. (5 баллов) Автомобиль проехал 400 км. Известно, что первую половину всего времени движения он двигался со скоростью 90 км/ч, а за вторую половину времени движения проехал 175 км. Какой была скорость движения автомобиля на втором участке пути? Определите среднюю скорость движения автомобиля на всем пути. Движение автомобиля на обоих участках считайте равномерным.

*Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Потом эту сумму разделите на три. Полученное число будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.*



Тренировочные тестовые задачи с компьютерной проверкой вы найдете на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение».

# Космодром на экваторе

Практически все технические новинки, появившиеся за последние сто лет, созданы по следующей схеме: *этап 1 — ученые открывают новый эффект (явление); этап 2 — инженеры-специалисты создают устройство (прибор), действие которого основано на использовании открытого эффекта (явления).*

Таким образом, инженеры-механики работают над созданием новых, усовершенствованных автомобилей и станков, инженеры-оптики — фотоаппаратов и телескопов, инженеры-электрики — аккумуляторов и электромоторов и т. д.

Ознакомившись с энциклопедическими страницами в учебнике, вы убедитесь, что хорошему инженеру нужны знания не только по своей специальности, — он должен знать и уметь использовать сведения из других областей науки.

## Как дальше всего бросить камень, или Почему космодромы строят вблизи экватора

Большинство жителей Земли понятия не имеют, как устроены ракеты и космические станции, но почти всем известно, что космос — это огромные расходы. Знают об этом и инженеры — конструкторы ракет. И чтобы уменьшить, например, затраты на доставку грузов на орбиту, они используют в том числе разные нетрадиционные решения. Приведем пример.



Космические корабли будет выводить на орбиту ракета-носитель «Циклон-4»

Вспомните ваши игры на детской карусели: вы разгоняете карусель и запрыгиваете на нее. При этом самое трудное — удержаться на краю быстро вращающейся карусели, так как «неизвестная сила» пытается вас сбросить. Именно этот физический эффект используют спортсмены — метатели молота, раскручивая металлическое ядро на тросе (интересно, что мировой рекорд в метании молота примерно в четыре раза больше, чем в толкании ядра, — около 86 м и 22 м соответственно, при этом массы обоих снарядов одинаковы); на том же эффекте основано действие пращи — древнего метательного оружия.

Конструкторы ракет хорошо знают физику, поэтому решили «облегчить» старт космического корабля, используя в качестве «карусели» Землю. Известно, что Земля вращается вокруг своей оси, при этом очевидно, что быстрее всего вращаются территории вблизи экватора. Запустив ракету с экватора, при прочих равных условиях на орбиту можно «забросить» примерно на 20 % больше полезного груза. Поэтому, например, космодром Европейского космического агентства — космодром Куру — расположен во Французской Гвиане, непосредственно вблизи экватора. А что же делать странам, расположенным в средних широтах, например Украине?

Почти 20 лет назад начался грандиозный международный проект при участии Украины, получивший название «Си Лонч» (англ. Sea Launch — Морской старт). Инженеры решили: если страны не имеют территории на суше вблизи экватора, нужно осуществлять запуски ракет с морской поверхности. Как же эта идея была реализована?

Понятно, что для размещения космодрома нужна значительная территория, практически целый искусственный остров. К счастью, подобные «острова» уже были созданы, правда, с другой целью, — речь идет о плавучих платформах для добычи нефти со дна морей. В качестве ракеты-носителя в проекте «Си Лонч» была использована украинская ракета «Зенит» — одна из лучших в мире. В рамках проекта было осуществлено 36 пусков.

Одновременно с участием в «Морском старте» украинские специалисты работали в украинско-бразильском проекте по созданию пусковой площадки на космодроме Алкантара (юг Бразилии, 300 км от экватора). И вновь «изюминкой» проекта с украинской стороны была ракета-носитель. На этот раз — «Циклон-4».



Расположение бразильского космодрома Алкантара



Ракеты-носители украинского производства



## Темы рефератов и сообщений

1. Эволюция приборов для измерения времени.
2. Способы отсчета времени. Календари.
3. Сверхскоростные поезда.
4. Рекорды скорости среди живых существ и среди технических устройств. Сравнение.
5. История рекордов скорости на судах.
6. История рекордов скорости на автомобилях.
7. Каким будет транспорт будущего.
8. Украина — космическое государство.
9. Марсианская научная лаборатория: марсоход «Кьюриосити».
10. Комета Чурюмова — Герасименко.
11. Вращательное движение в природе и технике.
12. Роль маятника в изучении физических свойств Земли.

## Темы экспериментальных исследований

1. Измерение времени реакции человека на визуальный сигнал.
2. Определение средней скорости движения человека во время прогулки.
3. Определение средней скорости полета мяча.
4. Построение графиков механического движения бумажного самолетика и определение средней скорости его движения.
5. Колебательные процессы в живой природе.
6. Колебательные процессы в технике.
7. Колебательные процессы в неживой природе.

# РАЗДЕЛ 3

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. СИЛА

- Вы умеете измерять массу тела, а научитесь измерять вес
- Вы понимаете, что движению тела препятствует сила трения, а будете знать, почему сила трения — причина движения
- Вы знаете: чтобы стать невесомым, нужно оказаться в космическом корабле, а узнаете, как стать невесомым не выходя из комнаты
- Вы знаете, что человек может подняться в небо на воздушном шаре, а сможете рассчитать размеры шара, который поднимет в воздух именно вас
- Вы знаете, что рыбы плавают, а узнаете, почему и как плавают подводная лодка



# ЧАСТЬ I. СИЛА. ВИДЫ СИЛ

## § 14. ЯВЛЕНИЕ ИНЕРЦИИ

Автомобиль мчится по шоссе, в небе летит птица, шар для боулинга катится по дорожке. Благодаря чему происходит каждое из этих движений? Существует ли причина их возникновения? Нужно ли вообще что-то, чтобы поддерживать движение? Почему скорость движения одних тел изменяется, а других — остается неизменной? Попробуем разобраться.

### **1** Убеждаемся в том, что тела взаимодействуют

В повседневной жизни мы постоянно имеем дело с различными видами действия одних тел на другие. Чтобы открыть дверь, мы действуем на нее рукой; мяч летит в ворота благодаря действию ноги; садясь на стул, мы действуем на него своим телом.

В то же время, открывая дверь, мы чувствуем и ее действие на руку; действие мяча на ногу особенно ощутимо, если играть в футбол босиком; действие стула не дает нам упасть на пол. То есть *действие всегда является взаимным: если одно тело действует на другое, то и другое тело действует на первое — тела взаимодействуют* (рис. 14.1).



Рис. 14.1. Примеры взаимодействия тел



Рис. 14.2. Действие всегда является взаимодействием: кто бы ни тянул за шнур, двигаться будут оба — и мальчик, и девочка

**1** Проведите опыт. Стоя с товарищем на скейтах, потяните за шнур, который он держит в руках. Кто из вас начнет двигаться? Прокомментируйте результат опыта, опираясь на рис. 14.2.

### **2** Узаем, при каких условиях тело находится в состоянии покоя

Мяч, лежащий на полу, находится в состоянии покоя. Но стоит толкнуть мяч рукой — и состояние покоя нарушится: в результате взаимодействия с рукой мяч начнет движение. А взаимодействовал ли мяч с чем-то



**Рис. 14.3.** Мяч находится в состоянии покоя, поскольку действие Земли скомпенсировано действием пола



**Рис. 14.4.** Люстра находится в состоянии покоя, поскольку действие Земли скомпенсировано действием подвеса



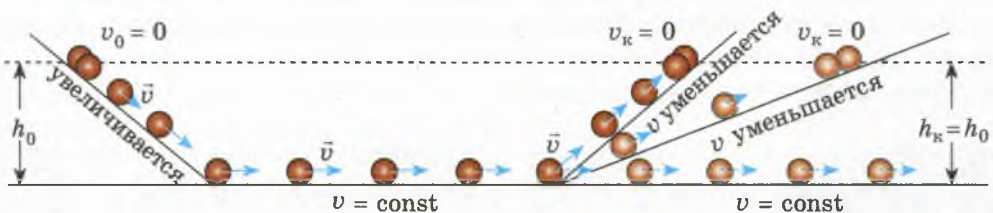
**Рис. 14.5.** Наш опыт подсказывает: чтобы тележка двигалась с постоянной скоростью, кто-то должен ее толкать

до этого? Конечно, да. Вы хорошо знаете, что все тела, находящиеся вблизи Земли, взаимодействуют с ней. И если «убрать» пол, то под действием притяжения Земли мяч сразу придет в движение. А находится он в состоянии покоя потому, что действие Земли на мяч скомпенсировано (уравновешено) действием пола.

*Тело находится в состоянии покоя, если действия на него других тел скомпенсированы (рис. 14.3, 14.4).*

### 3 Узнаем, при каких условиях тело движется равномерно прямолинейно

Более 2500 лет назад *Аристотель*, размышляя о причинах движения тел, пришел вроде бы к правильному с точки зрения жизненного опыта, но ошибочному с точки зрения физики выводу: для поддержания движения тела требуется постоянное действие на него других тел (рис. 14.5). И только в конце XVI в. *Галилео Галилей*, проведя опыты со скатыванием шариков по наклонному желобу и осуществив *мысленный эксперимент\** (рис. 14.6), выяснил, что идеи Аристотеля не могут правильно объяснить причины движения тел.



**Рис. 14.6.** Мысленный эксперимент Галилея. Когда шарик скатывается по желобу вниз, он набирает скорость; когда шарик движется вверх, его движение замедляется. Галилей задался вопросом: «Как будет двигаться шарик по горизонтальному гладкому желобу, если его движению ничего не будет мешать?» Ответ был неожиданным: шарик будет двигаться с неизменной скоростью как угодно долго (на рис.:  $v_0$  — начальная скорость движения;  $v_k$  — конечная скорость)

\* Эксперимент в виде размышлений в физике называют *мысленным экспериментом*. Мысленные эксперименты позволяют обосновать предположения, которые затем подтверждаются или опровергаются реальными экспериментами.

Проведем мысленный эксперимент и мы. Представьте: мальчик мчится по очень длинной горизонтальной ледовой дорожке (рис. 14.7). Если его никто не толкает и не тянет, то, как подсказывает наш опыт, в конце концов мальчик остановится. При этом время его движения будет зависеть от внешних условий. Если, например, на льду есть намерзший снег, то мальчик проедет только 2–3 м; если лед гладкий, не будет пределом и 20 м; а если мальчик наденет коньки, он может «пролететь» и сотню метров.

Рассуждаем дальше. Представьте, что «торможения» нет совсем, а мальчик не испытывает никакого действия извне. В этом случае воображаемый мальчик будет скользить с *постоянной скоростью* по воображаемой ледовой дорожке *сколь угодно долго*. При этом действие дорожки, которое не дает мальчику «провалиться», и действие Земли будут уравнивать (компенсировать) друг друга.

Условие движения тела с постоянной скоростью известно в механике как **закон инерции**:

Тело движется равномерно прямолинейно или находится в состоянии покоя лишь тогда, когда на него не действуют другие тела или действия других тел скомпенсированы.

#### **4 Знакомимся с инерцией**

Физическое явление сохранения телом состояния покоя или равномерного прямолинейного движения называют *инерцией* (от латин. *inertia* — неподвижность, бездеятельность).

**Инерция** — это явление сохранения скорости движения тела при отсутствии или скомпенсированности действий на него других тел.

В физике *движение тела в идеальных условиях (когда на тело не действуют другие тела) называют движением по инерции*.

В реальности невозможно создать условия, когда действие других тел отсутствует. Поэтому в повседневной жизни движением по инерции считают случаи, когда действие на тело других тел достаточно слабо и до заметного изменения скорости своего движения тело проходит значительный путь (рис. 14.8).



**Рис. 14.7.** Остановится ли мальчик, если ничего не будет препятствовать его движению?

**Рис. 14.8.** Скольжение шайбы по льду после удара клюшкой можно считать движением по инерции

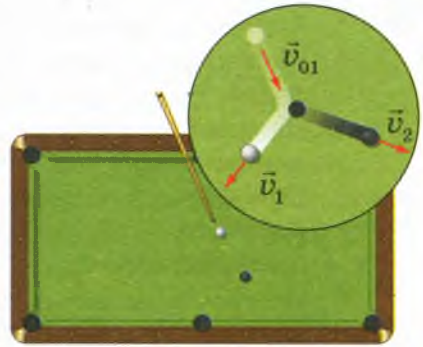
## 5 Наблюдаем результат действия одного тела на другое

А как будет двигаться тело, на которое действуют другие тела и действия этих тел не будут скомпенсированы? Например, как будет двигаться бильярдный шар, на который налетает другой шар и его удар ничем не скомпенсирован? Как будет двигаться груз, висящий на нити, если нить перерезать и действие Земли не будет уравновешено действием нити? Что будет, если, двигаясь на велосипеде, вы прекратите вращать педали и ваше действие не будет компенсировать сопротивление движению велосипеда?

В этих и многих других случаях *тела изменяют скорость своего движения*: бильярдные шары полетят в разные стороны с разными скоростями (рис. 14.9); груз начнет падать с увеличивающейся скоростью; велосипед станет двигаться медленнее и наконец остановится.

Итак, можно сделать следующий вывод.

*Если действия на тело других тел не скомпенсированы, то тело изменяет скорость своего движения по значению или направлению либо одновременно по значению и направлению\**.



**i** Рис. 14.9. Бильярдные шары в результате столкновения изменяют скорость своего движения как по значению, так и по направлению



### Подводим итоги

Тело движется равномерно прямолинейно или находится в состоянии покоя только тогда, когда на него не действуют другие тела или действия других тел скомпенсированы.

Инерция — это явление сохранения скорости движения тела при отсутствии или скомпенсированности действий на него других тел.

Если действия на тело других тел не скомпенсированы, то тело изменяет скорость своего движения по значению или направлению либо по значению и направлению одновременно.



### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры взаимодействия тел.
2. При каких условиях тело находится в состоянии покоя? движется равномерно прямолинейно?
3. Как движется тело, если на него не действуют другие тела?
4. Дайте определение инерции.
5. Что происходит с телом, когда действия на него других тел не скомпенсированы?

\* Заметим, что при взаимодействии тела могут не только изменить скорость своего движения, но и деформироваться, то есть изменить свои размеры и форму. Подробнее о деформации тел вы узнаете из материала § 19.



### Упражнение № 14

1. Вы сидите на стуле. Как и стул, вы находитесь в состоянии покоя относительно Земли. Какие тела действуют на стул? Какие тела действуют на вас? Что вы можете сказать об этих действиях?
2. Пузырек воздуха всплывает в озере с постоянной скоростью. Что действует на пузырек? Являются ли эти действия скомпенсированными?
3. При каких условиях тележка (см. рис. 14.5) движется равномерно прямолинейно? увеличивает скорость движения? уменьшает скорость движения?
4. Можно ли движение бильярдного шара после удара считать движением по инерции? Поясните свой ответ.
5. В космическом пространстве не от чего оттолкнуться, но космические ракеты успешно там летают, изменяя скорость своего движения. От чего «отталкиваются» ракеты?
6. Напишите небольшое сочинение на тему «Мой опыт, подтверждающий взаимодействие тел» (это может быть даже стихотворение!). Оформите сочинение на отдельном листе, добавив фото или рисунки.
7. Выразите в килограммах и запишите в стандартном виде массы тел: а) 5,3 т; б) 0,25 т; в) 4700 г; г) 150 ц.
8. Посмотрите видеоролик. В каких сюжетах движение мультипликационных героев можно считать движением по инерции? Поясните свой ответ.



### Экспериментальное задание

«Реактивное движение». Проведите мысленный эксперимент. Представьте, что вы, двигаясь на скейте, бросили в направлении, противоположном направлению вашего движения, тяжелое тело. Как изменится скорость вашего движения? Что произойдет, если вы бросите тело в направлении вашего движения? перпендикулярно направлению движения? Если есть возможность, проверьте ваши ответы, проведя реальный эксперимент. Где можно применить (или уже применяют) наблюдаемые явления?



### Физика и техника в Украине



**Николай Николаевич Боголюбов** (1909–1992) — выдающийся физик и математик XX в., академик, основатель научных школ нелинейной механики и теоретической физики; разработал теорию сверхтекучести и сверхпроводимости.

Уже в 13 лет его знания по математике и физике можно было сравнить с полным университетским курсом. В 19 лет он защитил кандидатскую диссертацию, а в 21 год получил научную степень доктора математики без защиты диссертации.

В 1913–1950 гг. Николай Николаевич жил и работал в Киеве. Н. Н. Боголюбов был основателем и директором Института теоретической физики АН Украины (Киев), который и сейчас носит его имя.

Национальной академией наук Украины учреждена премия имени Н. Н. Боголюбова.

## § 15. ИНЕРТНОСТЬ ТЕЛА. МАССА

Вспомните: вы заходите в автобус, все места заняты. Двери закрываются, автобус резко начинает движение, и вы должны приложить усилия, чтобы не упасть. Следующая остановка — и вы снова вынуждены цепляться за поручни, ведь автобус остановился достаточно резко. Почему что-то «толкает» вас вперед или назад? Из этого параграфа вы узнаете, из-за какого свойства физических тел вы отклоняетесь назад, когда транспортное средство набирает скорость, и вперед — в момент его резкой остановки (см. рис. 15.1).

### 1 Узнаем, что такое инертность

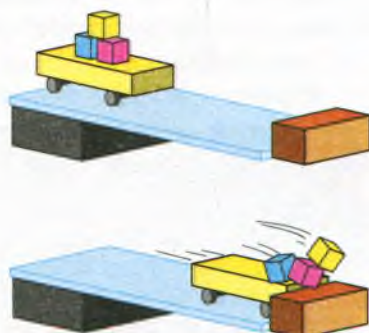
Наверняка вы все играли в «квача». Вспомните момент, когда вам нужно было резко изменить направление или скорость своего движения: остановиться, разогнаться, свернуть. Удавалось ли вам сделать это мгновенно? Конечно нет! Вам приходилось за кого-то цепляться, делать до остановки несколько лишних шагов, тратить время на разбег и т. д.

Рассмотрим еще пример. Когда вы играете в спортзале с мячом, вам, кажется, что мяч, ударившись о пол, в тот же момент отскакивает от него. Но это не так! Если сфотографировать движение мяча в режиме скоростной фотосъемки, то увидим, что собственно удар мяча о пол длится некоторое время (рис. 15.2).

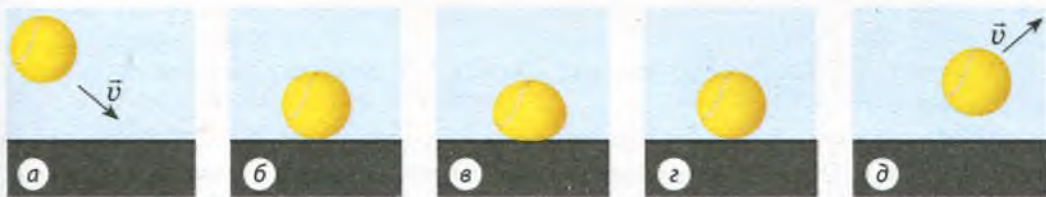
Вообще ни одно тело не может изменить скорость своего движения мгновенно. Говорят, что все тела «оказывают сопротивление» попытке изменить скорость их движения. В физике такое свойство тел называют *инертностью*.

**Инертность** — свойство тела, которое заключается в том, что для изменения скорости движения тела в результате взаимодействия требуется время.

Инертность тела проявляется тогда, когда мы пытаемся изменить скорость движения этого тела (см. рис. 15.1–15.3).

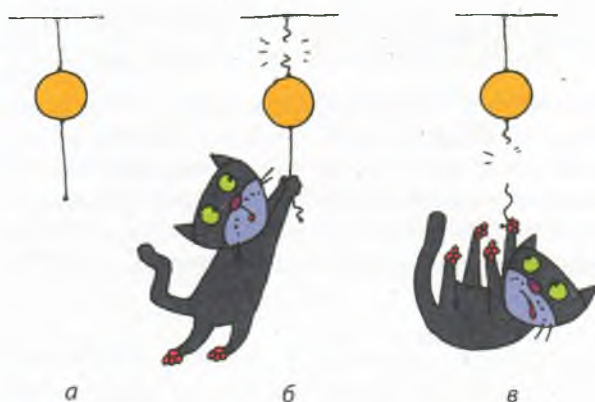


**Рис. 15.1.** После того как тележка остановилась, кубики некоторое время продолжают движение. Не напоминает ли вам этот опыт резкую остановку автобуса?



**Рис. 15.2.** Схематическое изображение удара мяча о гладкий пол: после того как мяч, двигаясь с некоторой скоростью (а), коснулся пола (б), он сплющивается, останавливаясь (в), затем приобретает обычную форму, постепенно набирая скорость (г), а уже потом отскакивает от пола (д)





**Рис. 15.3.** Проведите опыт по описанию рисунка.

Тело подвешено на тонкой нити, снизу к телу привязана такая же нить (а). Если за нить, привязанную к телу снизу, тянуть медленно, то в конце концов порвется верхняя нить (б). Если нить, привязанную к телу снизу, резко дернуть, то порвется только она — из-за инертности тело не успеет за время рывка набрать заметную скорость и разорвать нить, привязанную сверху (в)

## 2 Даем определение массы тела

В результате одинакового воздействия одни тела изменяют скорость своего движения достаточно быстро, другие — намного медленнее. Например, чтобы с помощью весел придать определенную скорость легкой байдарке, нужно намного меньше времени, чем для придания такой же скорости тяжелой лодке. В таком случае говорят, что лодка *более инертна*, чем байдарка.

Инертность тел характеризуется физической величиной — *массой*. Чем больше масса тела, тем больше времени нужно для изменения скорости его движения в результате одного и того же воздействия.

**Масса тела** — это физическая величина, которая является мерой инертности тела.

Массу тела обозначают символом *m*. *Единица массы в СИ* — килограмм:

$$[m] = \text{кг}.$$

Кроме килограмма используют также другие единицы массы, например *тонна (т)*, *грамм (г)*, *миллиграмм (мг)*:

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}$$

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

*Масса* — это одна из основных единиц СИ, поэтому для нее существует **эталон**.

Международный эталон килограмма был создан в 1880 г.\*; его используют и сейчас. Эталон килограмма — это цилиндр, изготовленный из сплава платины и иридия (рис. 15.4). Масса цилиндра — *ровно 1 килограмм*.

\* Сначала в качестве эталона килограмма был принят 1 л чистой воды при температуре около +4 °С. Однако такой эталон был очень неудобным.

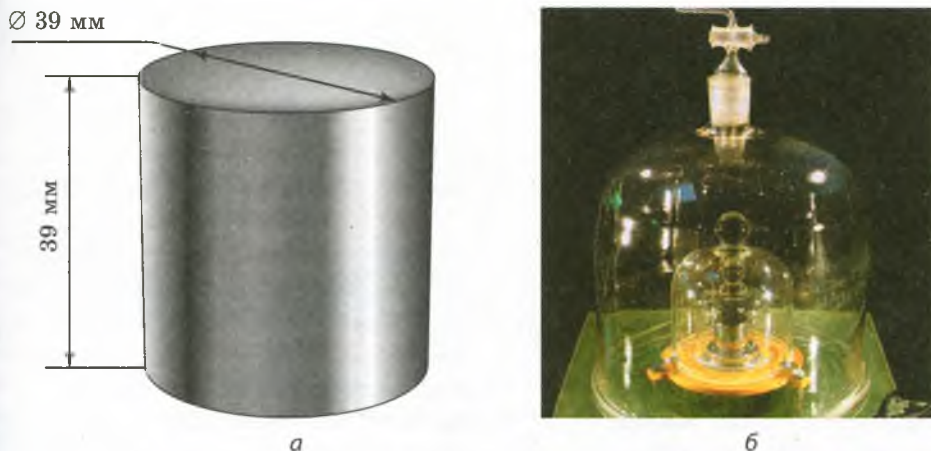


Рис. 15.4. Международный эталон килограмма: а — размеры; б — условия хранения

Международный эталон килограмма хранится во Франции, в Международном бюро мер и весов, расположенном в г. Севр (предместье Парижа). Эталон достают из хранилища не чаще одного раза в 15 лет. В Украине, в Национальном научном центре «Институт метрологии» (г. Харьков), хранится государственный эталон единицы массы 1 кг.

### 3 Измеряем массу тела взвешиванием

Кроме инертности любое физическое тело имеет также свойство притягиваться к другим телам благодаря *гравитационному взаимодействию*\*. Как вы уже, возможно, догадались, мерой гравитационного свойства тела также является масса.

Именно на гравитационном свойстве тел основан самый распространенный способ измерения массы — взвешивание (рис. 15.5): чем больше масса тела, тем сильнее оно притягивается к Земле и поэтому сильнее давит на весы.

Подробнее об измерении масс тел взвешиванием вы узнаете при выполнении лабораторной работы № 6.

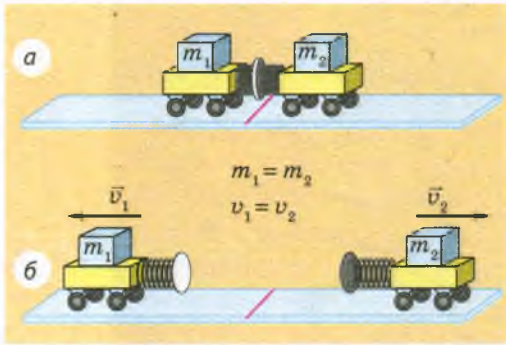
### 4 Узнаем еще об одном способе измерения массы

Массу тела можно также измерить, основываясь на инертности тел. Поставим две тележки со сжатыми пружинами на гладкую

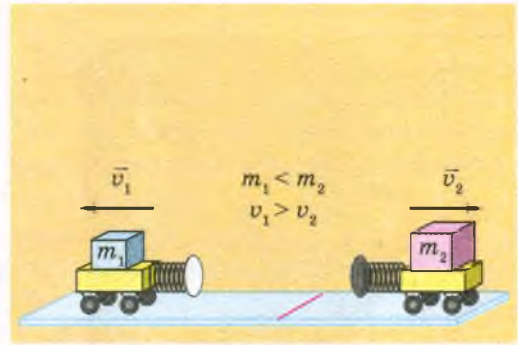


Рис. 15.5. Взвешивание — древнейший и самый распространенный способ измерения массы тел

\* Подробнее о гравитационном взаимодействии вы узнаете из материала § 20.



**Рис. 15.6.** Одинаковые по массе тележки в результате действия пружин приобретут одинаковые по значению скорости



**Рис. 15.7.** Разные по массе тележки в результате действия пружин приобретут разные по значению скорости

горизонтальную поверхность (рис. 15.6, а). Распрямляясь, пружины придадут тележкам некоторые скорости.

Если тележки приобретут одинаковые скорости и, соответственно, проедут до остановки одинаковое расстояние, то это означает, что их массы равны (рис. 15.6, б).

Если одна из тележек, например тележка 2, приобретет меньшую скорость и, соответственно, проедет меньшее расстояние, то она имеет большую массу (рис. 15.7). При этом во сколько раз скорость движения тележки 2, будет меньше скорости движения тележки 1, во столько же раз масса тележки 2 больше массы тележки 1:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2},$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы тележек;  $v_1$  и  $v_2$  — скорости движения, которые приобрели тележки в результате взаимодействия.

Полученное равенство позволяет определить отношение масс взаимодействующих тел по измеренным скоростям движений, которые приобретают эти тела в результате взаимодействия. Если же при этом масса одного из тел (например,  $m_1$ ) известна, то можно определить массу второго тела ( $m_2$ ):

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{v_1}{v_2}$$

На первый взгляд, способ измерения масс, основанный на инертности тел, неудобен, но он является единственным, если тела невозможно взвесить (например, элементарные частицы или космические тела)\*.

\* В большинстве таких случаев в формулу подставляют не приобретенные телами скорости движения, а изменение скорости движения каждого тела в результате взаимодействия.

**Подводим итоги**

Инертность — это свойство тела, которое заключается в том, что для изменения скорости движения тела в результате взаимодействия требуется время.

Масса тела ( $m$ ) — это физическая величина, которая является мерой инертного и гравитационного свойств тела. Единица массы в СИ — килограмм.

Массу тела можно определить взвешиванием (этот способ основан на том, что масса является мерой гравитационного свойства тела), а также сравнив, как изменились скорости движения тел в результате взаимодействия (способ основан на том, что масса является мерой инертности тела).

**Контрольные вопросы**

1. Приведите примеры, подтверждающие, что для изменения скорости движения тела требуется время.
2. Дайте определение инертности.
3. Какие свойства тела характеризуются его массой?
4. Назовите единицу массы в СИ.
5. Опишите тело, которое является международным эталоном килограмма.
6. Назовите способы измерения массы тела. На каком свойстве тел основан каждый из них?

**Упражнение № 15**

1. Чтобы объехать препятствие, водитель автобуса повернул вправо. В какую сторону отклонятся пассажиры автобуса?
2. Масса стакана с соком составляет 340 г 270 мг. Определите массу налитого в стакан сока, если известно, что масса пустого стакана равна 150 г 530 мг.
3. С неподвижной лодки массой 180 кг прыгнул мальчик. Скорость его движения — 4 м/с. Определите массу мальчика, если лодка приобрела скорость 1 м/с.
4. Примерно половина дорожно-транспортных происшествий происходит по вине пешеходов. О чем бы вы рассказали своим товарищам, чтобы убедить их всегда соблюдать правила дорожного движения?
5. На левой чаше уравновешенных весов лежит тело, массу которого необходимо измерить, а на правой — разновесы: два разновеса по 20 г, по одному разновесу 5 и 100 г и по одному разновесу 10, 20 и 200 мг. Определите массу тела и выразите ее в граммах.
6. Вспомните о чистке одеял двумя способами: выбиванием пыли и встряхиванием резкими взмахами. На каком свойстве тел основаны эти два способа? Чем они отличаются с точки зрения физики?
7. Мир животных чрезвычайно разнообразен. Выберите для всех учащихся класса несколько групп животных (например, птицы, рыбы, насекомые, млекопитающие и т. д.) и, воспользовавшись дополнительными источниками информации, подготовьте сообщения о «рекордсменах» по массе в каждой из выбранных групп.

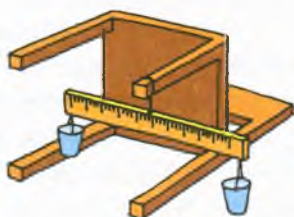


8. Выразите в килограммах массы тел: а) 5,3 т; б) 0,25 т; в) 4700 г; г) 150 г.
9. Выразите в граммах массы тел: а) 5 кг 230 г; б) 270 г 840 мг; в) 56 г 91 мг.



### Экспериментальное задание

«Весы своими руками». Сделайте весы, используя ученическую линейку, два пластиковых стаканчика, нитки (см. рисунок). В качестве разновесов возьмите разные монеты (их массы представлены в таблице). С помощью изготовленных вами весов определите массу нескольких небольших тел.



Номинал монеты	1 к.	2 к.	5 к.	10 к.	25 к.	50 к.
Масса монеты, г	1,5	1,8	4,3	1,7	2,9	4,2

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

**Тема.** Измерение масс тел способом взвешивания.

**Цель:** научиться работать с рычажными весами и определять с их помощью массы тел.

**Оборудование:** рычажные весы; набор разновесов; два тела для взвешивания; два одинаковых стакана: один пустой, второй — с водой.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



#### Подготовка к эксперименту

Внимательно прочитайте правила взвешивания.

#### Правила взвешивания

1. Весы ставят перед собой, справа от весов располагают футляр с разновесами.  
Учащиеся, у которых ведущая рука левая, футляр располагают слева. Соответственно следует действовать и далее.
2. До начала взвешивания весы необходимо уравновесить.  
*Напоминаем!* Чтобы уравновесить весы, на более легкую чашу следует положить полоски бумаги.
3. Взвешиваемое тело аккуратно кладут на левую чашу весов.
4. Разновесы вынимают из футляра специальным пинцетом и кладут на правую чашу весов.
5. Начинают взвешивание с разновеса, масса которого близка к массе взвешиваемого тела. Если окажется, что масса этого разновеса

больше массы тела, разновес ставят на его место в футляре, а на правую чашу весов кладут разновес меньшей массы. Если масса разновеса недостаточна для уравновешивания весов, добавляют разновесы меньшей массы до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие.

6. Уравновесив весы, определяют общую массу разновесов на чаше; с помощью пинцета возвращают разновесы в футляр.
7. Закончив взвешивание, проверяют, все ли разновесы положены в футляр и находятся на предназначенных для них местах.  
*Напоминаем!* На чашу весов нельзя класть влажные, грязные, горячие тела, наливать жидкости; порошки нужно насыпать на лист бумаги, уравновесив перед этим весы вместе с листом.

### ▶ Эксперимент

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац).*

1. Четко соблюдая правила взвешивания, измерьте массу:
  - а) предложенных двух тел;
  - б) пустого стакана;
  - в) стакана с водой.
2. Результаты взвешиваний занесите в таблицу.

Номер опыта	Взвешиваемое тело	Набор разновесов на чаше	Масса тела $m_0$ , г

### ▶ Обработка результатов эксперимента

Определите массу воды в стакане как разность массы стакана с водой и массы пустого стакана.

### ▣ Анализ эксперимента и его результатов

Сделайте вывод, в котором укажите: 1) какую физическую величину и с помощью какого прибора вы измеряли; 2) какие факторы повлияли на точность измерений; 3) масса какого тела измерена с наибольшей точностью.

### + Творческое задание

Измерьте массу монетки. Что нужно сделать, чтобы получить как можно более точный результат?

### \* Задание «со звездочкой»

Считая, что абсолютная погрешность измерения массы при взвешивании на учебных весах равна  $\Delta m = 0,02$  г, запишите результаты измерения масс предложенных тел в виде:

$$m = m_0 \pm \Delta m .$$

## § 16. ПЛОТНОСТЬ. ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ

Вы наверняка слышали выражения «легкий, как воздух», «тяжелый, как свинец». При этом воздух внутри, скажем, супермаркета имеет массу более 5000 кг! Поднять груз такой массы не сможет и силач. В то же время свинцовое грузило для удочки легко поднимет даже малыш. Так что же, приведенные выражения ошибочны? Выясним, в чем здесь дело.

### 1 Выполняем некоторые измерения и расчеты

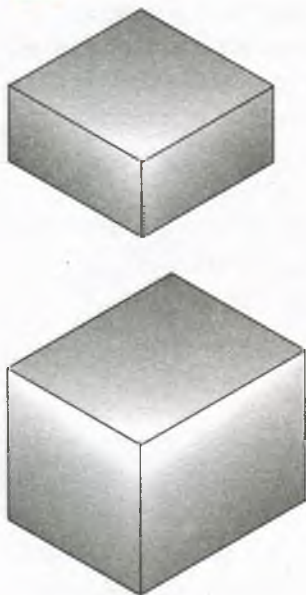


Рис. 16.1. Два свинцовых бруска, изображенных в натуральную величину

На рис. 16.1 изображены два однородных (не имеющих пустот) свинцовых бруска разного объема. Массы брусков тоже разные. Наша задача — найти *отношение массы каждого бруска к его объему*, то есть определить *массу свинца объемом 1 см<sup>3</sup>*.

1) Измерьте длину, ширину, высоту брусков и вычислите их объемы ( $V_1$  и  $V_2$ ).

2) Определите массу каждого бруска ( $m_1$  и  $m_2$ ) (рис. 16.2). Весы находятся в равновесии, значит, следует найти массу разновесов.

3) Определите отношение массы каждого

бруска к его объему ( $\frac{m_1}{V_1}$  и  $\frac{m_2}{V_2}$ ), то есть узнайте, какова в каждом случае масса свинца объемом 1 см<sup>3</sup>.

Надеемся, что вы все сделали правильно и для обоих брусков получили одинаковые результаты:

$$\frac{m_1}{V_1} = \frac{m_2}{V_2} = 11,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Итак, мы определили, что масса свинца объемом 1 см<sup>3</sup> равна 11,3 г.

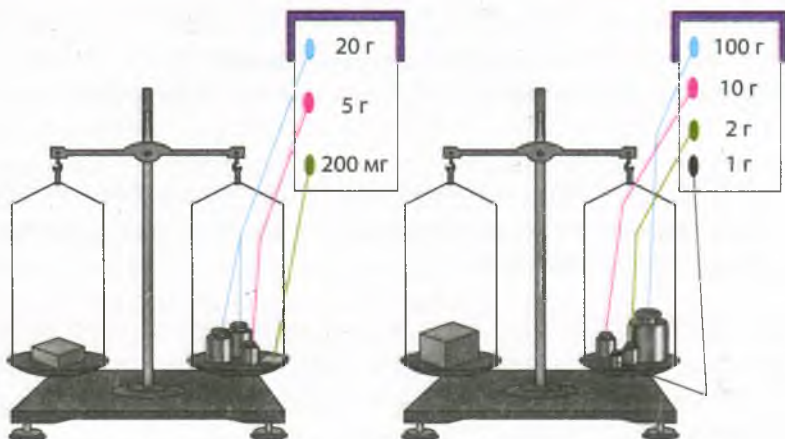


Рис. 16.2. Измерение масс свинцовых брусков, изображенных на рис. 16.1

1 Как вы считаете, изменится ли результат, если для эксперимента взять однородные свинцовые бруски вдвое большей массы? Если изменится, то как?

## 2 Даем определение плотности вещества

Мы провели измерения и расчеты для тел, изготовленных из свинца. Если для эксперимента взять однородные тела, изготовленные из другого вещества, например алюминия, то снова получим одинаковые результаты, но уже другие, чем в опыте со свинцом. Отношение массы тела к его объему — характеристика не тела, а вещества, из которого это тело изготовлено. Эту величину называют *плотность вещества*.

**Плотность вещества** — это физическая величина, которая характеризует вещество и равна отношению массы однородного тела, изготовленного из данного вещества, к объему этого тела:

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

где  $\rho$  («ро») — плотность вещества;  $m$  — масса тела;  $V$  — объем тела (объем, занятый веществом).

В СИ единица массы — килограмм, единица объема — метр кубический, поэтому *единица плотности в СИ* — килограмм на метр кубический:

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Используют также единицу плотности *грамм на сантиметр кубический* ( $\text{г}/\text{см}^3$ ). Единицы плотности килограмм на метр кубический и грамм на сантиметр кубический связаны соотношением:

$$1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{1 \cdot 1000 \text{ г}}{100 \text{ см} \cdot 100 \text{ см} \cdot 100 \text{ см}} = 0,001 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

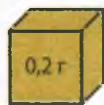
$$1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,001 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

## 3 Сравниваем плотности разных веществ

Плотности веществ могут существенно отличаться. Именно поэтому одинаковые по размерам однородные тела, изготовленные из разных веществ, будут иметь разную массу. Приведем несколько примеров.

Кубики на рис. 16.3 изображены в натуральную величину и являются однородными. Объем каждого кубика —  $1 \text{ см}^3$ , массы кубиков указаны на рисунке.



Пробка



Лед



Свинец



Золото

Рис. 16.3. Плотности веществ разные, поэтому, несмотря на то что данные вещества занимают одинаковый объем ( $1 \text{ см}^3$ ), их массы существенно отличаются



Первый кубик изготовлен из пробки. Плотность пробки составляет  $0,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  — это означает, что масса пробки объемом  $1 \text{ см}^3$  равна  $0,2 \text{ г}$ .

Плотность льда  $0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , следовательно, масса льда объемом  $1 \text{ см}^3$  равна  $0,9 \text{ г}$ .

Плотность свинца составляет  $11,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , поэтому однородное свинцовое тело объемом  $1 \text{ см}^3$  имеет массу  $11,3 \text{ г}$ .

**?** Используя рис. 16.3, найдите плотность золота. По таблицам плотностей некоторых веществ (см. с. 249 учебника) определите массу кубика объемом  $1 \text{ см}^3$ , изготовленного из латуни.

**4** **Выясняем, от каких факторов зависит плотность вещества**



**Рис 16.4.** Расстояние между молекулами жидкости намного меньше, чем расстояние между молекулами газа

*Плотность существенно зависит от агрегатного состояния и температуры вещества.*

Если вещество изменяет свое агрегатное состояние или температуру, его *масса остается неизменной*, так как количество частиц (молекул, атомов) и масса каждой из них не изменяются. А вот *объем вещества изменяется*, поскольку изменяется среднее расстояние между частицами.

Так, при переходе вещества из жидкого состояния в газообразное плотность вещества уменьшается, поскольку увеличивается среднее расстояние между частицами, а значит, увеличивается объем, который занимает вещество (рис. 16.4).

*С увеличением температуры среднее расстояние между частицами увеличивается, соответственно увеличивается объем вещества и уменьшается его плотность. И наоборот, чем ниже температура вещества, тем меньше межмолекулярные промежутки, а значит, меньше объем вещества и больше — его плотность\*.*

**5** **Учимся вычислять плотность тела\*\*, массу и объем тела**

Как выяснить, из какого вещества изготовлено однородное тело? Один из способов — определить плотность этого тела и сравнить полученный результат с данными таблиц плотностей. *Чтобы определить*

\* Исключениями являются вода, чугун и некоторые другие вещества. Например, при нагревании воды от  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  ее плотность увеличивается.

\*\* Плотность — это характеристика вещества, но иногда, например для сокращения записи, употребляют термин «плотность тела».

плотность тела, достаточно измерить его массу и объем и вычислить отношение массы тела к его объему.

Например, если однородная фигурка объемом  $V = 0,001 \text{ м}^3$  имеет массу  $m = 8,9 \text{ кг}$ , то плотность вещества, из которого она изготовлена, равна:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{8,9 \text{ кг}}{0,001 \text{ м}^3} = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

По таблице плотностей определяем, что фигурка изготовлена из вещества, имеющего такую же плотность, что и медь (рис. 16.5).

До сих пор речь шла об однородных телах, то есть телах, не имеющих пустот и состоящих из одного вещества (свинцовые бруски, медная фигурка).

А вот если в теле есть пустоты или оно состоит из разных веществ (например, корабль, футбольный мяч, человек), то говорят о *средней плотности тела*; ее вычисляют по формуле:

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

где  $\rho$  — средняя плотность тела;  $V$  — объем тела;  $m$  — масса тела.

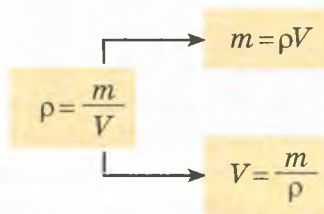
Так, средняя плотность тела человека чуть больше  $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Зная объем тела и его плотность (плотность вещества, из которого оно изготовлено, или среднюю плотность тела), можно определить массу тела без взвешивания. Действительно, если  $\rho = \frac{m}{V}$ , то  $m = \rho V$ .

Соответственно, зная массу тела и его плотность, можно найти объем тела:  $V = \frac{m}{\rho}$ .



Рис. 16.5. Плотность вещества, из которого изготовлена однородная фигурка, равна  $8900 \text{ кг/м}^3$ . Вероятно, фигурка изготовлена из меди



### Подводим итоги

Плотность вещества — это физическая величина, которая характеризует вещество и равна отношению массы однородного тела, изготовленного из данного вещества, к объему этого тела.

Плотность можно определить по формуле  $\rho = \frac{m}{V}$ .

Единица плотности в СИ — килограмм на метр кубический ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Также используют единицу плотности грамм на сантиметр кубический ( $\text{г}/\text{см}^3$ ). Эти единицы связаны соотношением:  $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

Зная объем тела и его среднюю плотность, можно найти массу тела:  $m = \rho V$ . По известным массе и плотности можно найти объем тела:  $V = \frac{m}{\rho}$ .



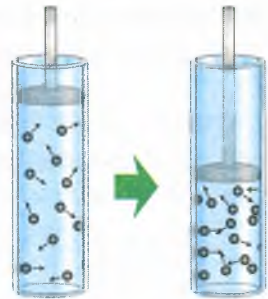
### Контрольные вопросы

1. Дайте определение плотности вещества.
2. Какие измерения необходимо провести, чтобы определить плотность вещества?
3. Какие единицы плотности вы знаете?
4. Как выразить плотность в граммах на сантиметр кубический ( $\text{г}/\text{см}^3$ ), если известно ее значение в килограммах на метр кубический ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )?
5. Зависит ли плотность вещества от температуры и агрегатного состояния вещества? Если зависит, то как? Ответ поясните.
6. Как вычислить массу тела, зная его среднюю плотность и объем?
7. Как определить объем тела, зная его среднюю плотность и массу?



### Упражнение № 16

1. В цилиндре под поршнем находится кислород. Поршень опускают (см. рисунок). Как при этом изменяется: а) масса газа? б) объем газа? в) плотность газа?
2. Плотность платины равна  $21\,500 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Какова масса платины объемом  $1 \text{ м}^3$ ? объемом  $1 \text{ см}^3$ ?
3. Значения какой величины мы на самом деле сравниваем, когда говорим: «легкий, как воздух», «тяжелый, как свинец»?
4. В каких случаях массы тел одинакового объема будут равны?
5. Один из двух одинаковых сосудов наполнен жидким медом, второй — подсолнечным маслом. Масса какой жидкости больше и во сколько раз?
6. Два кубика имеют одинаковую массу. Первый кубик изготовлен из оргстекла, второй — из дуба. Объем какого кубика меньше и во сколько раз?



### Экспериментальное задание

«*Чья плотность больше*». По возможности определите среднюю плотность собственного тела, зная свою массу. Объем тела можно найти, выяснив количество воды, которую вы вытесняете при погружении в ванну. *Подсказка*: кроме ванны вам потребуются сосуд известного объема (кастрюля, пластиковая бутылка и т. п.) и помощник.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

**Тема.** Определение плотностей твердых тел и жидкости.

**Цель:** определить плотности предложенных твердых тел и жидкости.

**Оборудование:** весы с разновесами; линейка; исследуемые твердые тела (деревянный брусок, металлическое тело на нити); мерный сосуд с водой; стакан с исследуемой жидкостью; пустой стакан; бумажные салфетки.

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

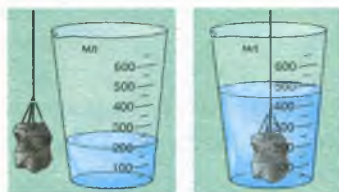
### Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к измерениям, вспомните:
  - формулу, по которой вычисляют плотность;
  - приборы, с помощью которых можно определить объем твердого тела;
  - как правильно снимать показания мерного сосуда;
  - правила работы с рычажными весами.
- Определите и запишите цену деления шкалы линейки и цену деления шкалы мерного сосуда.

### Эксперимент

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац). Результаты измерений и вычислений заносите в таблицу.*

- Измерьте длину, ширину и высоту деревянного бруска с помощью линейки. Вычислите его объем.
- Измерьте массу бруска с помощью весов.
- Измерьте массу металлического тела с помощью весов.
- Измерьте объем металлического тела с помощью мерного сосуда (см. рисунок). После этого перелейте воду из мерного сосуда в пустой стакан.
- Определите массу и объем исследуемой жидкости:
  - измерьте массу стакана с исследуемой жидкостью;
  - перелейте жидкость в мерный сосуд и измерьте объем жидкости;
  - измерьте массу пустого стакана;
  - вычислите массу жидкости.



Исследуемое тело или жидкость	Масса $m$ , г	Объем $V$ , $\text{см}^3$	Плотность $\rho$		Вещество
			$\text{г}/\text{см}^3$	$\text{кг}/\text{м}^3$	

### Обработка результатов эксперимента

- Определите плотность древесины, из которой изготовлен брусок.
- Определите плотность металла, из которого изготовлено металлическое тело.

3. Определите плотность исследуемой жидкости.
4. Пользуясь таблицами плотностей (с. 249), определите вещества, из которых изготовлены исследуемые тела, а также название исследуемой жидкости.

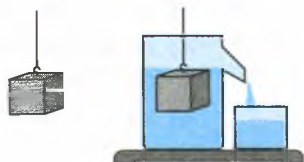
### Анализ эксперимента и его результатов

Сделайте вывод, в котором укажите: 1) какую физическую величину и с помощью каких приборов вы измеряли; 2) какие результаты получили; 3) какие факторы могли повлиять на точность результатов.

+

### Творческое задание

Как найти массу воды, которая выльется из сливного сосуда (см. рисунок), если в него медленно погрузить алюминиевый кубик с ребром 3 см? Предложите два способа — теоретический и экспериментальный.



## § 17. УЧИМСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ

Напомним: приступив к решению задачи по физике, сначала следует несколько раз внимательно прочитать ее условие и понять, какое явление описано в задаче, какое тело рассматривается. Другими словами, нужно четко представить ситуацию, которую описывает задача, а уже потом приступать к поиску ответа. Итак, внимательно читаем, думаем, решаем. Попробуйте сначала поработать над каждой задачей самостоятельно, а уже потом ознакомьтесь с ее решением в учебнике.

**Задача 1.** Однородный кубик с ребром 2 см имеет массу 20 г. Из какого вещества изготовлен кубик?

*Анализ физической проблемы.* Для ответа на вопрос определим плотность вещества, из которого изготовлен кубик, а потом воспользуемся таблицей плотностей. Задачу будем решать в единицах, данных в условии.

Дано:

$$a = 2 \text{ см}$$

$$m = 20 \text{ г}$$

Найти:

$\rho$  — ?

*Поиск математической модели, решение.*

По определению плотности:  $\rho = \frac{m}{V}$ .

Объем куба вычисляют по формуле:  $V = a^3$ .

Следовательно, имеем:  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$ .

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \quad \rho = \frac{20}{2^3} = \frac{20}{8} = 2,5 \left( \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right).$$

*Анализ результата.* Из таблицы плотностей узнаем, что плотность  $2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  имеет стекло.

*Ответ:* кубик, возможно, изготовлен из стекла.

**Задача 2.** Свинцовый шар объемом  $60 \text{ см}^3$  имеет массу  $0,565 \text{ кг}$ . Определите, однородный этот шар или имеет пустоту. Если в шаре есть пустота, вычислите ее объем.

*Анализ физической проблемы.* Выполним пояснительный рисунок. Если объем свинца ( $V_{\text{св}}$ ) меньше объема шара ( $V_{\text{ш}}$ ), то шар имеет пустоту, объем которой равен:  $V_{\text{пуст}} = V_{\text{ш}} - V_{\text{св}}$ .

Определяя объем свинца, будем считать, что масса свинца равна массе шара:  $m_{\text{св}} = m_{\text{ш}}$ .

Плотность свинца найдем в таблице плотностей.

В данной задаче массу лучше выразить в граммах, объем — в сантиметрах кубических, плотность — в граммах на сантиметр кубический.



Свинец      Пустота

*Дано:*

$$V_{\text{ш}} = 60 \text{ см}^3$$

$$m_{\text{св}} = 0,565 \text{ кг} = 565 \text{ г}$$

$$\rho_{\text{св}} = 11,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

*Найти:*

$$V_{\text{пуст}} \text{ — ?}$$

*Поиск математической модели, решение.*

1. Определим объем свинца.

По определению плотности:  $\rho_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{V_{\text{св}}}$ , поэтому

$$V_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}}$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[V_{\text{св}}] = \frac{\text{г}}{\frac{\text{г}}{\text{см}^3}} = \frac{\text{г} \cdot \text{см}^3}{\text{г}} = \text{см}^3; \quad V_{\text{св}} = \frac{565}{11,3} = 50 \text{ см}^3.$$

*Анализ результатов:*  $V_{\text{ш}} > V_{\text{св}}$ , следовательно, шар имеет пустоту.

2. Вычислим объем пустоты:

$$V_{\text{пуст}} = V_{\text{ш}} - V_{\text{св}} = 60 \text{ см}^3 - 50 \text{ см}^3 = 10 \text{ см}^3.$$

*Ответ:*  $V_{\text{пуст}} = 10 \text{ см}^3$ .

**Задача 3.** Сколько железнодорожных цистерн емкостью  $25 \text{ м}^3$  каждая требуется для перевозки  $1080 \text{ т}$  нефти?

*Анализ физической проблемы.* Количество цистерн можно найти, разделив общий объем нефти ( $V$ ) на емкость одной цистерны ( $V_0$ ).

Общий объем нефти определим по ее массе и плотности. Плотность нефти найдем в таблице плотностей.

Задачу будем решать в единицах СИ.



**Дано:**

$$m = 1080 \text{ т} = \\ = 1\,080\,000 \text{ кг}$$

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

$$V_0 = 25 \text{ м}^3$$

**Найти:** $N$  — ?

*Поиск математической модели, решение.* Из определения плотности найдем общий объем нефти:

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

Определим общее количество цистерн:

$$N = \frac{V}{V_0} = \frac{m}{\rho} : V_0 = \frac{m}{\rho V_0}$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[N] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3} = 1; \quad N = \frac{1\,080\,000}{800 \cdot 25} = 54.$$

*Анализ результатов.* Количество цистерн, полученное в результате расчетов, вполне реально.

*Ответ:*  $N = 54$ .



### Упражнение № 17

- Из какого материала изготовлен детский кубик, если его объем равен  $250 \text{ см}^3$ , а масса —  $110 \text{ г}$ ?
- Топливный бак автобуса вмещает  $84 \text{ кг}$  дизельного топлива. Определите емкость бака. Ответ дайте в литрах.
- Для каждого случая найдите значение неизвестной физической величины ( $m$ ,  $V$  или  $\rho$ ). Обращайте внимание на единицы.
  - $m = 18 \text{ кг}$ ,  $V = 0,02 \text{ м}^3$ ;
  - $m = 140 \text{ г}$ ,  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ ;
  - $V = 10 \text{ м}^3$ ,  $\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$ .
- Серебряная фигурка имеет массу  $707 \text{ г}$ , а объем —  $0,7 \text{ дм}^3$ . Определите, однородная эта фигурка или имеет пустоту. Ответ поясните.
- Емкость железнодорожной цистерны равна  $30 \text{ м}^3$ . Сколько тонн нефти может перевезти состав из  $50$  таких цистерн?
- Что больше — масса учителя физкультуры или масса воздуха в спортзале, если масса учителя равна  $80 \text{ кг}$ , а размеры спортзала  $20 \times 10 \times 5 \text{ м}$ ? Объемом, который занимает в спортзале спортивный инвентарь, следует пренебречь.
- В мензурку с водой (рис. 1) погрузили металлический цилиндр массой  $675 \text{ г}$  (рис. 2). Из какого металла может быть изготовлен этот цилиндр?

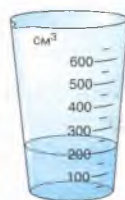


Рис. 1

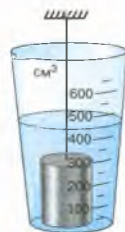


Рис. 2

8. Решите задачу 3 в § 17 другим способом.
9. Алюминиевый цилиндр массой 1,35 кг полностью погрузили в сосуд, до краев наполненный спиртом. Определите массу вылившегося спирта.
10. Приведите примеры взаимодействия тел, с которым вы имеете дело в быту, школе, во время занятий спортом и т. д. Какие изменения при этом происходят с телами?



### Экспериментальное задание

«Физика на кухне». Определите плотность сырого картофеля, используя предметы, представленные на рис. 3.

Можете также определить плотность некоторых других овощей. Напоминаем: чтобы правильно измерить объем тела, его следует погрузить в воду полностью.



Рис. 3

## § 18. СИЛА — МЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИЛ. СЛОЖЕНИЕ СИЛ

Вам хорошо известно слово «сила». Обычно смысл слова «сила» и образованных от него слов «силач», «сильный» и т. д. связан с возможностями человека, животного, механизма, с интенсивностью проявления природных явлений. Мы говорим «самый сильный человек», «сила воли», «сильные чувства», «сильный мороз», «сильный двигатель». А какое содержание вкладывают в слово «сила» физики?

### 1 Узнаем, что означает понятие «сила» в физике

Мы уже говорили о том, что *причина изменения скорости движения тела — его взаимодействие* с другими телами.

Чтобы теннисный мяч вернулся на сторону соперника, вы бьете по мячу ракеткой, но и мяч «бьет» по ракетке. Чтобы остановить велосипед, вы нажимаете на ручки тормоза и в то же время ощущаете, как они давят на ваши ладони.

Обратите внимание: в любом случае результат зависит от того, *насколько «сильным» будет взаимодействие*: сильнее ударите по мячу — мяч наберет большую скорость (рис. 18.1); сильнее нажмете на тормоз — быстрее остановится велосипед.

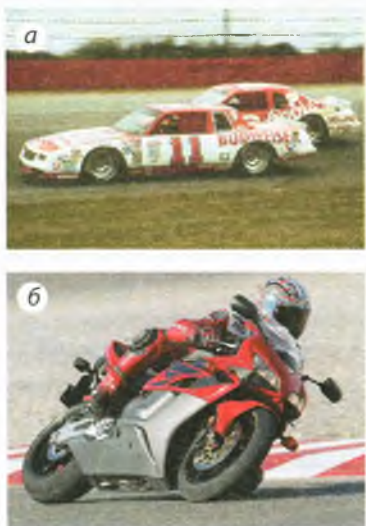
Мерой действия одного тела на другое служит физическая величина *сила*.

**Сила** — это физическая величина, которая является мерой действия одного тела на другое (мерой взаимодействия тел).





**Рис. 18.1.** Взрослый теннисист способен заставить мяч лететь со скоростью движения спортивного автомобиля (а); ребенок не может сильно ударить по мячу, поэтому придает ему сравнительно небольшую скорость (б)



**Рис. 18.2.** Чтобы тяжелый автомобиль (а) мог разогнаться так же быстро, как легкий мотоцикл (б), на автомобиль нужно установить более мощный двигатель

Силу обычно обозначают символом  $F$ . Единица силы в СИ — **ньютон** (названа в честь Исаака Ньютона):

$$[F] = \text{Н}.$$

1 Н — это сила, которая, действуя на тело массой 1 кг в течение 1 с, изменяет скорость его движения на 1 м/с:  $1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ .

Чем больше сила и чем дольше она действует на тело, тем заметнее изменяется скорость движения тела (см. рис. 18.1). Чтобы тела разной массы за одинаковое время изменяли скорости своего движения одинаково, на них должны действовать разные силы (рис. 18.2).

## 2 Изображаем силы

Сила, действуя на тело, может изменить скорость его движения как по значению, так и по направлению, поэтому *сила определяется и значением, и направлением*. Уже говорилось о том, что физические величины, имеющие значение и направление, называют векторными. Итак, *сила — векторная величина*.

На рисунках вектор силы начинают в точке, к которой приложена сила (эту точку так и называют — *точка приложения силы*), и направляют в сторону действия силы. Длину стрелки иногда выбирают так, чтобы она в определенном масштабе соответствовала значению силы (рис. 18.3).

Изменение скорости движения тела (по значению, по направлению) зависит от направления силы (см. таблицу на с. 123).



- значение
- направление
- точка приложения

**Рис. 18.3.** Со стороны Земли на тело массой  $m_1 = 400$  г действует сила  $F_1 = 4$  Н, на тело массой  $m_2 = 600$  г действует сила  $F_2 = 6$  Н. Длины стрелок, изображающих эти силы, в определенном масштабе равны значениям сил

Направление силы совпадает с направлением движения тела	Направление силы противоположно направлению движения тела	Направление силы перпендикулярно направлению движения тела	Сила направлена под углом к направлению движения тела
			
Значение скорости движения тела увеличивается	Значение скорости движения тела уменьшается	Изменяется только направление скорости движения тела	Изменяются значение и направление скорости движения тела

### 3 Складываем силы, действующие вдоль одной прямой

Обычно на тело действует не одна сила, а две, три или больше.

Проведем опыт. Поставим на стол тележку и привяжем к ней две нити. Потянем за одну нить с силой 5 Н, а за другую — в том же направлении — с силой 3 Н (рис. 18.4). Тележка придет в движение, увеличивая свою скорость так, как если бы на нее действовала одна сила 8 Н. Силу 8 Н, которой в данном случае можно заменить две силы 5 и 3 Н, называют *равнодействующей* двух сил и обозначают символом  $R$  (или  $F$ ).

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

Если тележку одновременно тянуть за две нити в противоположные стороны (рис. 18.5), то силы не будут «помогать» друг другу разгонять тележку, а наоборот — будут «мешать». В этом случае тележка будет двигаться так, будто на нее действует одна сила 2 Н в направлении, в котором действует сила 5 Н, то есть равнодействующей сил 5 и 3 Н будет сила 2 Н.

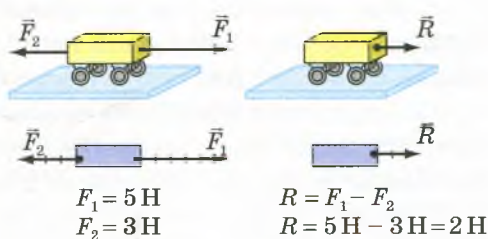
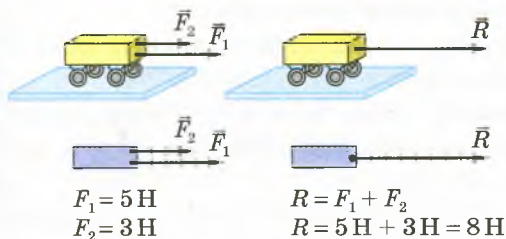


Рис. 18.4. Когда силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , действующие на тело, направлены в одну сторону, направление их равнодействующей  $\vec{R}$  совпадает с направлением действия сил

Рис. 18.5. Когда силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , действующие на тело, направлены в противоположные стороны, то направление их равнодействующей  $\vec{R}$  совпадает с направлением большей силы

- ❗ Как вы считаете, какой будет равнодействующая, если нити, привязанные к тележке с противоположных сторон, потянуть с силами, одинаковыми по значению, например 5 Н? Изменится ли в этом случае скорость движения тележки?



**Рис. 18.6.** Если силы, действующие на тело, равны по значению и противоположны по направлению, то тело движется равномерно прямолинейно (а) или находится в состоянии покоя (б)

#### 4 Выясняем, когда силы компенсируют друг друга

Надеемся, вы правильно ответили на вопрос в п. 3 и самостоятельно пришли к выводу: *если две силы равны по значению, противоположны по направлению и приложены к одному телу, то равнодействующая этих сил равна нулю.* Силы уравнивают (компенсируют) друг друга, поэтому причины для изменения скорости движения тела нет.

Так, по горизонтальному прямолинейному отрезку шоссе автомобиль движется равномерно (рис. 18.6, а), если сила тяги его двигателя компенсирует силу сопротивления движению (сила сопротивления движению достаточно быстро остановит автомобиль, если двигатель не будет работать). Портфель в руке находится в состоянии покоя, если сила притяжения Земли, действующая на портфель, компенсируется силой, которую прикладывает к портфелю человек (рис. 18.6, б).



#### Подводим итоги

Сила  $\vec{F}$  — физическая величина, являющаяся мерой действия одного тела на другое (мерой взаимодействия тел). Сила — причина изменения скорости движения тела.

Единица силы в СИ — ньютон (Н). 1 Н равен силе, которая, действуя на тело массой 1 кг в течение 1 с, изменяет скорость его движения на 1 м/с.

Сила — векторная величина. Чтобы охарактеризовать силу, необходимо указать значение, направление и точку приложения силы.

Если на тело действуют несколько сил, то их общее действие всегда можно заменить действием одной силы — равнодействующей.

Равнодействующей сил, которые действуют на тело в одном направлении, является сила, значение которой равно сумме значений сил, а направление совпадает с направлением этих сил.

Если две силы, действующие на тело, направлены в противоположные стороны, то направление равнодействующей совпадает с направлением большей силы, а для нахождения значения равнодействующей нужно из значения большей силы вычесть значение меньшей.

Две силы компенсируют (уравнивают) друг друга, если они равны по значению, противоположны по направлению и приложены к одному телу.



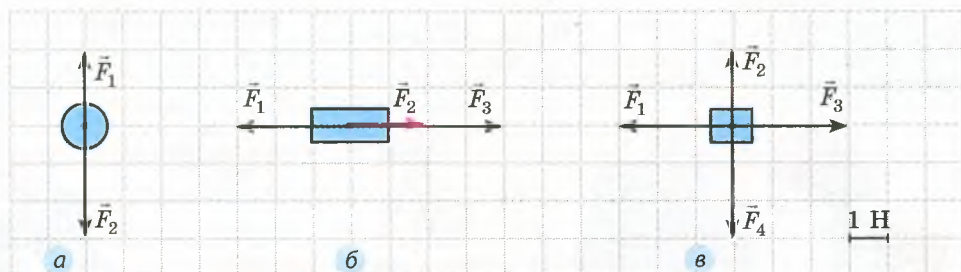
### Контрольные вопросы

1. Дайте определение силы.
2. Какова единица силы в СИ?
3. Почему сила характеризуется не только значением, но и направлением?
4. Как изображают силу на рисунках?
5. Дайте определение равнодействующей.
6. Как определить равнодействующую двух сил, действующих вдоль одной прямой в одном направлении? в противоположных направлениях?
7. При каких условиях две силы компенсируют друг друга?



### Упражнение № 18

1. Выберите масштаб и начертите в тетради силы, равные 3,2 Н; 5,6 Н; 8 Н. Сравните свой чертеж с чертежами одноклассников. Отличаются ли они? Почему?
2. Канат, который тянут в противоположные стороны два человека, находится в состоянии покоя. Один человек тянет канат с силой 300 Н. Чему равна сила, с которой тянет канат второй человек? Изобразите на схематическом рисунке силы, действующие на канат. Чему равна их равнодействующая?
3. Два мальчика тянут санки, прикладывая горизонтальные силы 50 и 70 Н, направленные вдоль одной прямой. Каким может быть значение равнодействующей этих сил?
4. На рисунках изображены тела и силы, действующие на них (1 клетка — 1 Н). Каждый рисунок перенесите в тетрадь, найдите равнодействующую и изобразите ее.



5. Человек действует на пол с силой 800 Н. С какой силой человек будет действовать на пол, если возьмет в руки груз, который, в свою очередь, действует на этого человека с силой 200 Н? Свой ответ поясните с помощью схематического рисунка.
6. Может ли двигаться автомобиль, если равнодействующая всех приложенных к нему сил направлена в сторону, противоположную направлению движения? Если может, приведите пример.
7. На тело действуют три силы, направленные вдоль одной прямой. Две силы имеют значения 30 и 50 Н. Какое значение может иметь третья сила, если равнодействующая трех сил равна 100 Н? Сколько решений имеет задача? Выполните соответствующие схематические рисунки.



### Экспериментальное задание

Предложите конструкцию устройства для демонстрации сложения сил, действующих вдоль одной прямой, и изготовьте это устройство.

## § 19. ДЕФОРМАЦИЯ ТЕЛА. СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА

Вспомните ненастный день: дует порывистый ветер, гнутся деревья. Чем сильнее ветер, тем больше гнутся деревья. А вот физики говорят, что деревья деформируются. Когда ветер стихает, деревья возвращаются в свое первоначальное положение — деформация исчезает. Но если ветер достаточно сильный, то ветви деревьев и даже их стволы могут сломаться.

О том, что такое деформация, когда она возникает, какие бывают виды деформации, вы узнаете из этого параграфа.

### **1** Узнаем о разных видах деформации

Уже отмечалось, что результатом действия силы на тело может быть как изменение скорости движения тела, так и его деформация. Например, если толкнуть мячик, то он придет в движение, а некоторые его части при толчке сместятся относительно друг друга — мячик *деформируется*.

**Деформация** — изменение формы и (или) размеров тела.

В зависимости от того, как именно части тела смещаются относительно друг друга, различают деформации *растяжения*, *сжатия*, *изгиба*, *кручения*, *сдвига* (см. таблицу).

Виды деформации				
растяжение	сжатие	изгиб	кручение	сдвиг
				
Настраиваем гитару — <i>растягиваем</i> струны	Садимся в автомобиль — пружины подвески <i>сжимаются</i>	Становимся на доску — доска <i>прогибается</i>	Затягиваем шуруп — происходит <i>кручение</i> отвертки	Передвигаем мебель — происходит деформация <i>сдвига</i>

### **2** Различаем упругие и пластические деформации

Возьмите эспандер (или ластик) и сожмите его — эспандер согнется. Но если прекратить сжимать эспандер, он полностью восстановит свою форму — *деформация исчезнет* (рис. 19.1).

Деформации, которые полностью исчезают после прекращения действия на тело внешних сил, называют **упругими**.



**Рис. 19.1.** После прекращения действия руки форма эспандера восстановится



**Рис. 19.2.** Глина сохраняет форму, которую придад ей мастер

Делая глиняную фигурку, мастер мнет руками комок глины, и глина сохранит форму, которую придаст ей мастер (рис. 19.2). Тяжелый пресс на монетном дворе чеканит монеты из металлических заготовок, — после прекращения действия прессы монета не восстановит свою прежнюю форму куска металла. И глина, и металл «не помнят» своей формы до деформации и не восстанавливают ее.

Деформации, которые сохраняются после прекращения действия на тело внешних сил, называют **пластическими**.

Попробуйте привести другие примеры упругих и пластических деформаций.

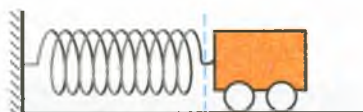
### 3 Даем определение силы упругости

При деформации всегда возникает сила, стремящаяся восстановить то состояние тела, в котором оно находилось до деформации. Эту силу называют **силой упругости** (рис. 19.3).

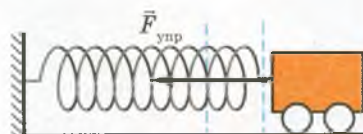
**Сила упругости** — это сила, которая возникает во время деформации тела и направлена в сторону, противоположную направлению смещения частей этого тела при деформации.

Обычно силу упругости обозначают символом  $\vec{F}_{\text{упр}}$ , но в некоторых случаях используют и другие символы.

Если тело давит на опору, то опора деформируется (прогибается). Деформация опоры вызывает появление силы упругости, действующей на тело **перпендикулярно поверхности опоры**. Эту силу называют **силой нормальной реакции опоры** и обозначаются символом  $\vec{N}$  (рис. 19.4).



Пружина не деформирована — сила упругости отсутствует

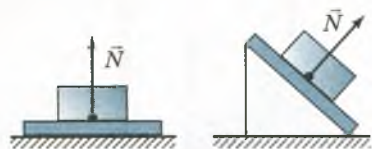


Пружина растянута — сила упругости пытается сжать пружину

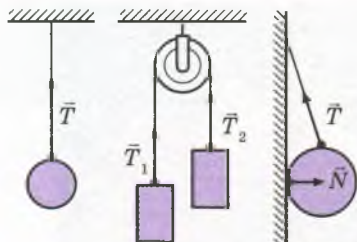


Пружина сжата — сила упругости пытается растянуть пружину

**Рис. 19.3.** Направление силы упругости при деформациях растяжения и сжатия



**Рис. 19.4.** Сила нормальной реакции опоры ( $\vec{N}$ ) всегда направлена перпендикулярно поверхности опоры



**Рис. 19.5.** Сила натяжения подвеса ( $\vec{T}$ ) всегда направлена вдоль подвеса

Если тело растягивает подвес (нить, жгут, шнур), то возникает сила упругости, направленная *вдоль подвеса*. Эту силу называют **силой натяжения подвеса** и обозначают символом  $\vec{T}$  (рис. 19.5).

#### 4 Открываем закон Гука

Научное исследование процессов растяжения и сжатия тел начал *Роберт Гук* (рис. 19.6) в XVII в. Результатом работы ученого стал закон, который позже получил название **закон Гука**:

При малых упругих деформациях растяжения или сжатия сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела и всегда пытается вернуть тело в недеформированное состояние:

$$F_{\text{упр}} = kx,$$

где  $F_{\text{упр}}$  — сила упругости;  $x$  — удлинение тела;  $k$  — коэффициент пропорциональности, который называют **жесткостью тела**.

**Удлинение** — это физическая величина, которая характеризует деформации растяжения и сжатия и равна изменению длины тела в результате деформации.

Удлинение  $x$  определяется по формуле:

$$x = |l - l_0|,$$

где  $l$  — длина деформированного тела;  $l_0$  — длина недеформированного тела (рис. 19.7).

**Жесткость** тела можно определить, воспользовавшись законом Гука:

$$F_{\text{упр}} = kx \Rightarrow k = \frac{F_{\text{упр}}}{x}.$$

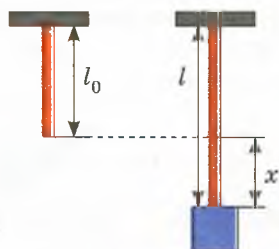
**Единица жесткости в СИ — ньютон на метр:**

$$[k] = \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

**Жесткость** — это характеристика тела, поэтому она не зависит ни от силы упругости,



**Рис. 19.6.** Роберт Гук (1635–1703), выдающийся английский ученый, один из основателей экспериментальной физики



**Рис. 19.7.** Если к резиновому шнуру подвесить груз, то длина шнура увеличится

ни от удлинения. Жесткость зависит от формы и размеров тела, а также от материала, из которого тело изготовлено.

Сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела, поэтому график зависимости  $F_{\text{упр}}(x)$  — прямая (рис. 19.8). Чем больше жесткость тела, тем выше расположен график.

5 Воспользовавшись графиками на рис. 19.8, определите жесткость тел I–III и убедитесь в справедливости последнего утверждения.

### 5 Узнаем, почему возникает сила упругости

Вы хорошо знаете, что все тела состоят из частиц (атомов, молекул, ионов). В твердых телах частицы колеблются около положений равновесия и взаимодействуют межмолекулярными силами притяжения и отталкивания. В положениях равновесия данные силы уравновешены.

При деформации тела во взаимном расположении его частиц происходят изменения. Если расстояние между частицами увеличивается, то межмолекулярные силы притяжения становятся больше сил отталкивания. Если же частицы сближаются, то больше становятся межмолекулярные силы отталкивания. Другими словами: при деформации частицы «стремятся» вернуться в положение равновесия.

Силы, возникающие при изменении положения одной частицы, очень малы. Но когда тело деформируется, изменяется взаимное расположение огромного количества частиц. В результате сложение сил дает заметную равнодействующую, которая противостоит деформации тела. Это и есть сила упругости. Итак, сила упругости — проявление действия межмолекулярных сил.

### 6 Знакомимся с приборами для измерения силы

Сила — это физическая величина, поэтому ее можно измерить.

Приборы для измерения силы называют динамометрами.

Основная составляющая простейших динамометров — пружина. Рассмотрим принцип действия таких динамометров на простом примере. Чтобы с помощью пружины, жесткость  $k$  которой известна, измерить силу  $F$ , с которой кот тянет тележку (рис. 19.9), необходимо:

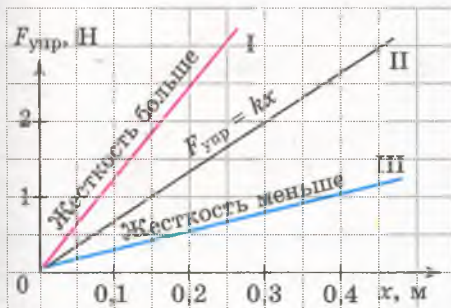


Рис. 19.8. График  $F_{\text{упр}}(x)$  — зависимости силы упругости от удлинения тела — прямая линия

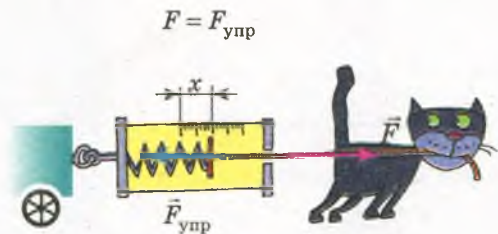
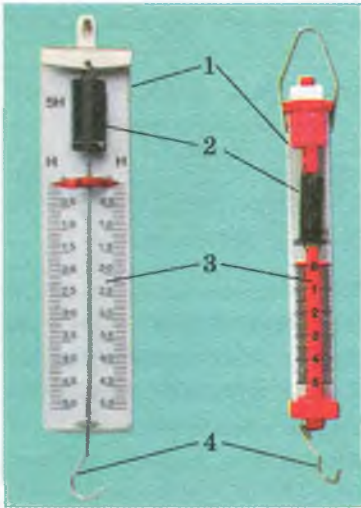


Рис. 19.9. Силу, с которой кот тянет тележку, можно измерить с помощью пружины





**Рис. 19.10.** Школьные пружинные лабораторные динамометры: 1 — панель; пластиковый корпус; 2 — пружина; 3 — шкала; 4 — поводок с крючком



**Рис. 19.11.** Тяговый динамометр, предназначенный для измерения больших сил, например силы тяги трактора



**Рис. 19.12.** К задаче 1 в § 19

- 1) измерить удлинение  $x$  пружины;
- 2) воспользовавшись законом Гука, определить силу упругости ( $F_{\text{упр}} = kx$ ), которая действует на kota со стороны пружины и по значению равна силе  $F$  тяги kota:  $F = F_{\text{упр}}$ .

Понятно, что каждый раз измерять удлинение пружины и рассчитывать силу неудобно. Поэтому пружину закрепляют на панели со шкалой, проградуированной в единицах силы. Именно так устроены простейшие школьные лабораторные динамометры (рис. 19.10). Существуют и другие виды пружинных динамометров (см., например, рис. 19.11).

### 7 Учимся решать задачи

**Задача 1.** Действуя на пружину силой 40 Н, мальчик растянул ее на 8 см. Определите жесткость пружины. Какую силу нужно приложить мальчику, чтобы растянуть эту пружину еще на 6 см? Деформацию пружины считайте малой упругой.

*Анализ физической проблемы.* Сила, которую прикладывает мальчик, по значению равна силе упругости, возникающей при растяжении пружины:  $F = F_{\text{упр}}$  (рис. 19.12). Деформация является малой упругой, поэтому воспользуемся законом Гука. Задачу будем решать в единицах СИ.

*Дано:*

$$\begin{aligned} F_1 &= 40 \text{ Н} \\ x_1 &= 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м} \\ x_2 - x_1 &= 6 \text{ см} = \\ &= 0,06 \text{ м} \end{aligned}$$

*Найти:*

$$\begin{aligned} k &- ? \\ F_2 &- ? \end{aligned}$$

*Поиск математической модели, решение.*

1. Вычислим жесткость пружины:

$$F_{\text{упр}1} = kx_1,$$

$$\text{поэтому } k = \frac{F_{\text{упр}1}}{x_1} = \frac{F_1}{x_1};$$

$$k = \frac{40 \text{ Н}}{0,08 \text{ м}} = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

2. Найдем силу, которую нужно приложить мальчику, чтобы дополнительно растянуть пружину:

$$F_2 = F_{\text{упр}2} = kx_2.$$

По условию  $x_2 - x_1 = 0,06$  м, поэтому  $x_2 = x_1 + 0,06$  м =  $0,08$  м +  $0,06$  м =  $0,14$  м; следовательно,  $F_2 = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,14$  м =  $70$  Н.

*Анализ результатов.* Для удлинения пружины на 8 см мальчик прикладывал силу 40 Н; для удлинения пружины еще на 6 см ему нужно увеличить силу на 30 Н — это правдоподобный результат.

*Ответ:*  $k = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ;  $F_2 = 70$  Н.

**Задача 2.** Выполняя экспериментальное задание, девочка увеличивала нагрузку на резиновый шнур. Каждый раз она измеряла силу, действующую на шнур, и соответствующее удлинение шнура. Воспользовавшись таблицей, составленной девочкой, постройте график  $F_{\text{упр}}(x)$ . С помощью графика определите:

- 1) жесткость шнура;
- 2) удлинение шнура, когда к нему приложена сила 5 Н;
- 3) силу, которую нужно приложить к шнуру, чтобы его удлинение было равно 6 см.

Сила $F$ , Н	2	4	6	8
Удлинение $x$ , м	0,1	0,2	0,3	0,4

*Анализ физической проблемы.* При растяжении шнура возникает сила упругости, которая по значению равна силе, действующей на шнур:  $F_{\text{упр}} = F$ .

Для построения графика зависимости  $F_{\text{упр}}(x)$  начертим две взаимно перпендикулярных оси. На горизонтальной оси будем откладывать удлинение  $x$  шнура, а на вертикальной — соответствующее значение силы упругости  $F_{\text{упр}}$ .

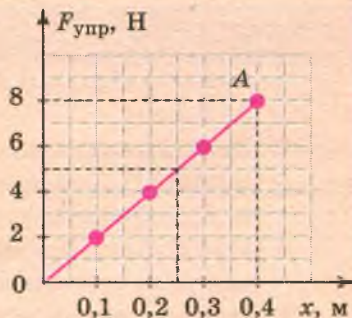
*Решение.* Построив указанные в таблице точки (см. рисунок), увидим, что все они принадлежат одной прямой, значит, для любой точки графика имеем:  $F_{\text{упр}} = kx$ .

1) Выбрав точку А графика, найдем жесткость шнура:  $k = \frac{F_{\text{упр}}}{x} = \frac{8 \text{ Н}}{0,4 \text{ м}} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

2) Удлинение шнура в результате действия силы 5 Н найдем по графику: если  $F_{\text{упр}} = 5$  Н, то  $x = 0,25$  м.

3) Силу, которую нужно приложить к шнуру, чтобы его удлинение было равно 0,06 м, найдем по закону Гука:  $F = F_{\text{упр}} = kx = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,06$  м =  $1,2$  Н.

*Ответ:*  $k = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ;  $x = 0,25$  м;  $F = 1,2$  Н.





### Подводим итоги

Деформацией называют изменение формы и (или) размеров тела. Если после прекращения действия на тело внешних сил деформация полностью исчезает, то это упругая деформация; если деформация сохраняется, то это пластическая деформация.

Сила упругости  $\vec{F}_{\text{упр}}$  — это сила, которая возникает во время деформации тела и направлена в сторону, противоположную направлению смещения частей этого тела при деформации. Сила упругости — проявление действия межмолекулярных сил.

При малых упругих деформациях растяжения и сжатия выполняется закон Гука: сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела и всегда пытается вернуть тело в недеформированное состояние:  $F_{\text{упр}} = kx$ .

Приборы для измерения силы называют динамометрами. Простейшие из них — пружинные динамометры.



### Контрольные вопросы

1. Что такое деформация? В чем причина ее возникновения?
2. Какие виды деформаций вы знаете? Приведите примеры.
3. Какие деформации называют упругими? пластическими? Приведите примеры.
4. Дайте определение силы упругости.
5. Почему возникает сила упругости?
6. Сформулируйте закон Гука.
7. Какой прибор служит для измерения силы?
8. Опишите строение простейшего лабораторного динамометра.



### Упражнение № 19

1. На стол положили тяжелый брусок. Что происходит со столешницей? Выполните схематический рисунок и укажите силу упругости, действующую на брусок со стороны столешницы.
2. Пружина в растянутом состоянии имеет длину 12 см. Какова длина недеформированной пружины, если удлинение равно 20 мм?
3. Жесткость пружины равна 20 Н/м. Какую силу нужно приложить к пружине, чтобы растянуть ее на 0,1 м?
4. Зная силу упругости и удлинение пружины, определите жесткость пружины: а)  $F_{\text{упр}} = 10$  Н,  $x = 0,2$  м; б)  $F_{\text{упр}} = 3$  кН,  $x = 0,15$  м; в)  $F_{\text{упр}} = 2,1$  Н,  $x = 3,5$  мм.
5. Воспользовавшись законом Гука, найдите значение физических величин ( $F_{\text{упр}}$ ,  $k$  или  $x$ ): а)  $x = 2$  см,  $F_{\text{упр}} = 13$  Н; б)  $k = 2$  Н/см,  $x = 4$  мм; в)  $F_{\text{упр}} = 1,8$  кН,  $k = 600$  Н/м.
6. При сжатии пружины на 7 см возникает сила упругости 2,8 кН. Какая сила возникнет при сжатии этой пружины на 4,2 мм?
7. Производители часто представляют характеристики своих пружин с помощью графиков. На рис. 1 приведены графики зависимости  $F_{\text{упр}}(x)$  для двух пружин. Определите жесткость каждой пружины. Вычислите удлинение каждой пружины в случае, если к ней приложена сила 25 Н.

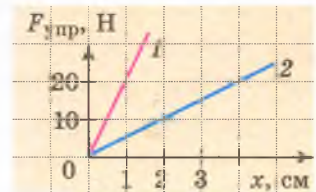


Рис. 1

8. Две пружины, имеющие жесткости 40 Н/м и 50 Н/м, соединены последовательно (рис. 2). Каким будет удлинение этой системы пружин, если к ней приложить силу  $F = 10$  Н? Какова жесткость системы? *Обратите внимание:* при последовательном соединении пружин сила упругости будет одинаковой в любой точке системы:  $F_{\text{упр}} = F_{\text{упр}1} = F_{\text{упр}2}$ .

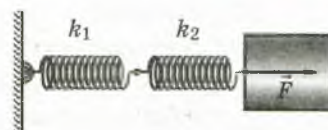


Рис. 2

## Физика и техника в Украине



**Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара (ДНУ)** — одно из ведущих высших учебных заведений Украины. Первый набор студентов ДНУ осуществил в 1918 г. Первым ректором университета был известный ученый-биолог *Владимир Порфирьевич Карпов* (1870–1943).

Университет гордится целой плеядой ученых-физиков, среди которых Г. В. Курдюмов, В. И. Данилов, А. Н. Динник, В. С. Будник, В. И. Моссаковский и многие другие. Благодаря усилиям ведущих научных сотрудников в ДНУ успешно развиваются известные научные школы в области математики, механики, радиофизики, ракетно-космической техники, нейрокибернетики и др.

Благодаря общегосударственному и международному признанию Днепропетровскому университету был присвоен статус национального.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

**Тема.** Исследование упругих свойств тел.

**Цель:** исследовать упругие свойства резиновых шнуров при деформации растяжения.

**Оборудование:** штатив с муфтой и лапкой; три одинаковых резиновых шнура длиной 15–20 см; набор грузов массой 100 г каждый; ученическая линейка.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### II Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы.
  - Что такое деформация? Какие существуют виды деформации?
  - Какие деформации называют упругими? пластическими?
  - По какой формуле рассчитывают силу упругости?

2. Определите цену деления шкалы линейки.
3. Соберите устройство.
  - 1) На концах одного из шнуров (шнур А) завяжите петли так, чтобы расстояние между узлами было около 8 см.
  - 2) Сложите два других шнура и получите двойной шнур В. На его концах тоже завяжите петли так, чтобы расстояние между узлами было 8 см.
  - 3) Шнуры А и В подвесьте за петли на лапку штатива (рис. 1).

### Эксперимент

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац). Результаты измерений и вычислений сразу заносите в таблицу.*

1. Потянув за петлю, выровняйте шнур А, не растягивая его. Измерьте расстояние  $l_{0A}$  между узлами — длину недеформированного шнура А.
2. Подвесьте к шнуру А груз массой 100 г (рис. 2). Измерьте расстояние  $l_A$  между узлами — длину деформированного шнура А. *Примечание.* Если подвешенный к шнуру груз массой 100 г находится в состоянии покоя, он растягивает шнур с силой, которая приблизительно равна 1 Н.
3. Снимите груз. Выясните, вернулся ли нижний узел шнура А в исходное положение, то есть была ли деформация шнура упругой.
4. Подвесьте к шнуру А последовательно 2, 3, 4 груза. Для каждого случая измерьте длину деформированного шнура А.

*Обратите внимание:* после каждого опыта следует снимать грузы и определять, вернулся ли нижний узел шнура в исходное положение. Если деформация шнура перестанет быть упругой (после снятия грузов шнур останется деформированным), опыты следует прекратить.

5. Повторите действия, которые описаны в пунктах 1–4, со шнуром В.

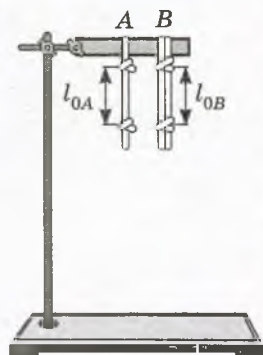


Рис. 1

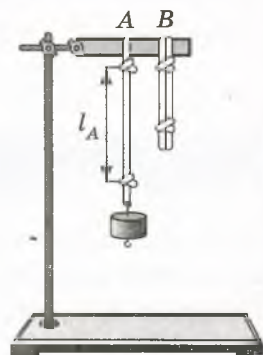


Рис. 2

### Обработка результатов эксперимента

1. Для каждого опыта:
  - 1) определите удлинение шнуров:  $x_A = l_A - l_{0A}$  и  $x_B = l_B - l_{0B}$ ; полученные результаты представьте в метрах.
  - 2) найдите отношения:  $\frac{F_{\text{упр}}}{x_A}$ ;  $\frac{F_{\text{упр}}}{x_B}$ .

Номер опыта	Масса груза, $m$ , г	Сила упругости $F_{\text{упр}}$ , Н	Шнур А				Шнур В			
			Длина		Удлинение $x_A$ , м	Отношение $\frac{F_{\text{упр}}}{x_A}$ , м	Длина		Удлинение $x_B$ , м	Отношение $\frac{F_{\text{упр}}}{x_B}$ , м
			$l_{0A}$ , см	$l_A$ , см			$l_{0B}$ , см	$l_B$ , см		
1	100	1								
2	200	2								
3	300	3								
4	400	4								

### □ Анализ эксперимента и его результатов

Сравните отношение  $\frac{F_{\text{упр}}}{x}$  для каждого опыта. Сделайте вывод, в котором укажите: 1) влияет ли нагрузка на то, какой будет деформация (упругой или пластической); 2) зависит ли в случае упругой деформации жесткость  $\left(k = \frac{F_{\text{упр}}}{x}\right)$  шнура от его удлинения; 3) как изменилась жесткость шнура с увеличением его толщины вдвое.

### + Творческое задание

Изменится ли отношение  $\frac{F_{\text{упр}}}{x}$ , полученное в работе, если шнур заменить на такой же, но вдвое длиннее? Проверьте ваш ответ экспериментально.

## § 20. СИЛА ТЯЖЕСТИ. ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ

Если выпустить из рук карандаш, он обязательно упадет. Если поставить рюкзак на скамейку, она (хоть и незаметно для глаз) прогнется. Если подвесить к резиновому шнуру какое-нибудь тело, шнур растянется. Все это — следствия притяжения Земли. При этом репортажи с космических станций демонстрируют нам вроде бы «исчезновение» земного притяжения — космонавты и все вещи на борту находятся в состоянии невесомости. Из материала этого параграфа вы подробнее узнаете о земном притяжении и выясните, можно ли создать невесомость дома.

### 1 Узнаем о гравитационном взаимодействии

Почему любой предмет, например выпущенный из руки карандаш, капля дождя, лист дерева и т. д., падает вниз? Почему стрела, выпущенная из лука, не летит все время прямо, а в конце концов падает на землю? Почему Луна движется вокруг Земли? Причина всех этих явлений в том, что *Земля притягивает к себе все тела* (рис. 20.1).



**Рис. 20.1.** Земля притягивает к себе все тела

При этом *все тела притягивают к себе Землю*. Например, притяжение к Луне вызывает на Земле приливы и отливы (рис. 20.2). В результате притяжения к Солнцу наша планета и все другие планеты Солнечной системы движутся вокруг Солнца по определенным орбитам.

В 1687 г. *Исаак Ньютон* сформулировал закон, согласно которому *между всеми телами Вселенной существует взаимное притяжение*. Такое взаимное притяжение объектов называют *гравитационным взаимодействием* или *всемирным тяготением*.

Опираясь на опыты и математические расчеты, Ньютон доказал, что *интенсивность гравитационного взаимодействия увеличивается с увеличением масс взаимодействующих тел*. Именно поэтому легко убедиться в том, что всех нас притягивает Земля, и при этом мы совсем не ощущаем притяжение соседа по парте.

## 2 Знакомимся с силой тяжести

В физике силу гравитационного притяжения Земли, действующую на тела вблизи ее поверхности\*, называют *силой тяжести*.

**Сила тяжести**  $\vec{F}_{\text{тяж}}$  — это сила, с которой Земля притягивает к себе тела, находящиеся на ее поверхности или вблизи нее.

*Сила тяжести приложена к телу, которое притягивается Землей, и направлена вертикально вниз, к центру Земли (рис. 20.3).*

Многочисленными опытами доказано, что сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна массе этого тела:

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

где  $F_{\text{тяж}}$  — значение силы тяжести;  $m$  — масса тела;  $g$  — коэффициент пропорциональности, который называют *ускорением свободного падения*.



**Рис. 20.2.** Приливы и отливы — следствие притяжения Земли к Луне

\* Будем считать, что, когда говорят «вблизи поверхности Земли», имеют в виду расстояние, не превышающее нескольких десятков километров.

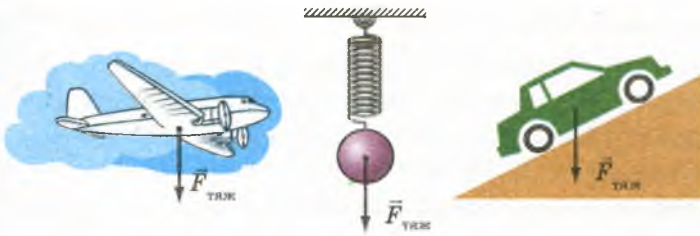


Рис. 20.3. Сила тяжести всегда приложена к телу и направлена вертикально вниз

Вблизи поверхности Земли ускорение свободного падения равно приблизительно 9,8 ньютона на килограмм:

$$g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$

Значение ускорения свободного падения несущественно изменяется на экваторе и полюсах Земли (рис. 20.4), при подъеме над поверхностью Земли и при спуске в шахту.



Рис. 20.4. Ускорение свободного падения на экваторе ( $g_2$ ) немного меньше, чем на полюсе ( $g_1$ )

Используя рис. 20.4, определите, на сколько сила тяжести, действующая на вас, на экваторе меньше, чем на полюсе.

### 3 Выясняем, что физики называют весом тела

Из-за притяжения к Земле все тела сжимают или прогибают опору либо растягивают подвес. Сила, которая характеризует такое действие тел, называется *весом тела* (рис. 20.5).

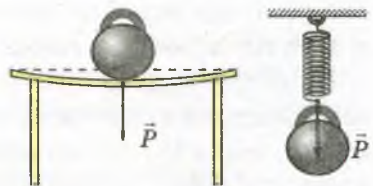


Рис. 20.5. Тела, расположенные на опоре или подвесе, действуют на них с силой, которую называют весом тела. Вес приложен к опоре или подвесу

**Вес тела  $\vec{P}$**  — это сила, с которой вследствие притяжения к Земле тело давит на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес.

Единица веса в СИ, как и любой другой силы, — ньютон (1 Н):  $[P] = \text{Н}$ .

Если тело находится в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения, то его вес совпадает по направлению с силой тяжести и равен ей по значению:

$$P = mg.$$

Однако в отличие от силы тяжести, которая приложена к телу, вес приложен к опоре или подвесу (рис. 20.6).

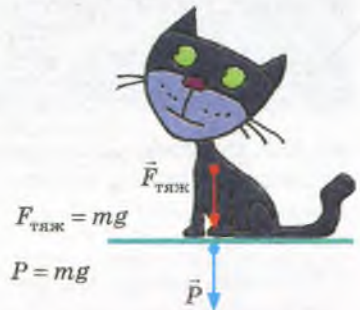


Рис. 20.6. Сила тяжести действует на тело, вес тела действует на опору

\* Для упрощения расчетов в случаях, когда большая точность не существенна, можно считать, что  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .



#### 4 Пробуем создать состояние невесомости

Вы наверняка хорошо знаете термин «невесомость», но его значение многие понимают неправильно. Например, считают, что невесомость — это состояние, которое наблюдается только в космосе, где нет воздуха, или там, где отсутствует гравитация. Но это не так!

Отсутствие воздуха само по себе не вызывает невесомости, а от гравитации вообще не спрячешься — во Вселенной нет ни одного уголка, где бы не действовали силы всемирного тяготения\*. На самом деле *невесомость* — это отсутствие веса. Уберите у тела опору или подвес — и оно окажется в состоянии невесомости. (*Обратите внимание:* сопротивление воздуха тоже является своего рода опорой!)

**Невесомость** — это такое состояние тела, при котором тело не действует на опору или подвес.

*Тело вблизи поверхности Земли находится в состоянии невесомости, если на него действует только одна сила — сила тяжести.*

На короткое время невесомость легко создать и дома. Можно, например, подпрыгнуть — и вы на мгновение окажетесь в состоянии невесомости: в данном случае, пока вы двигаетесь вниз, сопротивление воздуха пренебрежимо мало и можно считать, что на вас действует только сила тяжести.

Постоянно в состоянии невесомости находятся космические орбитальные станции и все, что на них находится (рис. 20.7). Это связано с тем, что космические корабли «постоянно падают» на Землю из-за ее притяжения и в то же время остаются на орбите благодаря своей огромной скорости.

У нетренированного человека длительное пребывание в состоянии невесомости, как правило, сопровождается тошнотой, нарушением работы мышц, вестибулярного аппарата\*\*, нервными расстройствами, именно поэтому космонавты проходят серьезную физическую подготовку (рис. 20.8).



**Рис. 20.7.** Орбитальные станции движутся под действием только силы тяжести Земли, поэтому находятся в состоянии невесомости



**Рис. 20.8.** Чтобы работать на орбите в состоянии невесомости, космонавты проходят специальную подготовку

\* Плотность материи в нашей Вселенной очень мала (2–3 атома Гидрогена на  $1 \text{ м}^3$ ), потому во Вселенной в среднем очень мала и гравитация. Ее называют *микрोगравитацией*.

\*\* *Вестибулярный аппарат* — орган чувств у людей и позвоночных животных, воспринимающий изменение положения тела в пространстве и направление движения. Этот орган отвечает, например, за способность человека различать в темноте, где верх, а где низ.



### Подводим итоги

Во Вселенной все тела притягиваются друг к другу. Такое взаимное притяжение тел называют всемирным тяготением.

Сила тяжести — сила, с которой Земля притягивает к себе тела, находящиеся на ее поверхности или вблизи нее. Сила тяжести вычисляется по формуле  $F_{\text{тяж}} = mg$  и направлена вертикально вниз, к центру Земли.

Вес  $\vec{P}$  тела — это сила, с которой вследствие притяжения к Земле тело действует на горизонтальную опору или вертикальный подвес. Следует различать силу тяжести и вес тела: сила тяжести приложена к самому телу, а вес — к опоре или подвесу; вес тела равен по значению силе тяжести ( $P = mg$ ) только в состоянии покоя тела или его равномерного прямолинейного движения.

Когда тело движется под действием только силы тяжести, то оно находится в состоянии невесомости (его вес равен нулю).



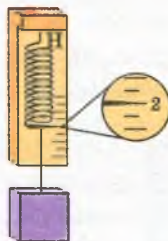
### Контрольные вопросы

1. Действует ли на вас сила притяжения к Луне?
2. Кто открыл закон, согласно которому между всеми телами Вселенной существует взаимное притяжение?
3. Дайте определение силы тяжести. По какой формуле ее вычисляют?
4. К чему приложена и куда направлена сила тяжести?
5. Дайте определение веса тела. В каких случаях его вычисляют по формуле  $P = mg$ ?
6. Что такое невесомость?
7. При каких условиях тело будет находиться в состоянии невесомости?



### Упражнение № 20

1. Притягивает ли Землю автомобиль, стоящий на автостоянке? космическая станция, находящаяся на орбите?
2. Книга лежит на столе. На какое тело действует вес книги?
3. Определите силу тяжести, которая действует на тело массой 600 г.
4. Какова масса тела, если его вес равен 600 Н?
5. Каков вес меда объемом 1 л?
6. В ведро массой 1,5 кг налили 5,5 л воды. Какую силу нужно прикладывать, чтобы удерживать ведро в руках? Сделайте пояснительный рисунок, указав силы, действующие на ведро.
7. Составьте задачу, обратную задаче 5 данного упражнения, и решите ее.
8. Определите массу груза, висящего на пружине жесткостью 200 Н/м, если удлинение пружины равно 0,5 см.
9. Найдите плотность вещества, из которого изготовлен кубик, и жесткость пружины динамометра (см. рисунок). Ребро кубика равно 4 см, удлинение пружины — 5 см.
10. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, определите силу тяжести, которая действовала бы на вас лично во время космического путешествия на другие планеты Солнечной системы (или их спутники). Подумайте, к каким последствиям это могло бы привести.



## **і** Физика и техника в Украине



**Юрий Васильевич Кондратюк** (*Александр Игнатьевич Шаргей*) (1897–1941) — один из пионеров ракетной техники. Космическими полетами ученый заинтересовался будучи еще гимназистом. Он учился в полтавской гимназии, затем — на механическом отделении Петроградского политехнического института.

В книге «Тем, кто будет читать, чтобы строить» (1919) Ю. Кондратюк привел схему четырехступенчатой ракеты на кислородно-водородном топливе, дал описание камеры сгорания двигателя, а в книге «Завоевание межпланетных пространств» (1929) предложил осуществлять полеты на Луну, используя для питания систем космического корабля солнечную энергию (!).

Американский астронавт *Нил Армстронг*, который первым ступил на поверхность Луны, специально приехал к дому, где жил Ю. Кондратюк, взял горсть земли и сказал: «Эта земля для меня имеет не меньшую ценность, чем лунный грунт». А один из ученых, задействованных в программе НАСА по освоению Луны, заявил: «Мы разыскали маленькую неприметную книжечку... Автор ее, Юрий Кондратюк, обосновал и рассчитал энергетическую выгодность полета на Луну по схеме: полет на орбиту Луны — старт на Луну с ее орбиты — возвращение на орбиту Луны — полет к Земле». По предложению американских специалистов трасса полета на Луну названа *трассой Кондратюка*.

## § 21. ТРЕНИЕ. СИЛА ТРЕНИЯ

Французский физик *Гийом Амонтон* (1663–1705), размышляя о роли трения, писал: «Всем нам случалось выходить в гололедицу: сколько усилий стоило нам, чтобы удерживаться от падения, сколько смешных движений приходилось нам проделывать, чтобы устоять!.. Представим, что трение исчезло вовсе. Тогда никакие тела, будь они величиной с каменную глыбу или малы, как песчинки, никогда не удержатся одно на другом: все будет скользить и катиться.... Не будь трения, Земля представляла бы собой шар без неровностей, подобный жидкой капле». Именно о силе трения пойдет речь в данном параграфе.

### **і** 1 **Узнаем о силе трения покоя**

Если вы пытаетесь передвинуть тяжелое тело, например большой ящик, и не можете сдвинуть его с места, это означает, что силу, которую вы прикладываете к ящику, уравнивает сила *трения покоя*, возникающая между полом и нижней поверхностью ящика (рис. 21.1).

**Сила трения покоя**  $\vec{F}_{\text{тр.п}}$  — это сила, возникающая между двумя соприкасающимися телами при попытке сдвинуть одно тело относительно другого и направленная в сторону, противоположную той, в которую двигалось бы тело, если бы трения не было.

Сила трения покоя приложена вдоль поверхности, которой тело соприкасается с другим телом, и по значению равна силе  $\vec{F}$ , пытающейся сдвинуть тело с места (рис. 21.2):

$$F_{\text{тр. п}} = F.$$

При увеличении силы  $\vec{F}$ , которая пытается сдвинуть тело, увеличивается и сила трения покоя. Когда сила  $\vec{F}$  достигает такого значения, что тело вот-вот начнет движение, сила трения покоя максимальна. С началом движения сила трения покоя переходит в силу трения скольжения.

Таким образом, для каждого случая сила трения покоя не может превышать некоторого максимального значения.

Чаще всего действие силы трения покоя очень «полезно»: благодаря ей предметы не выскальзывают из рук, не развязываются узлы; эта сила удерживает песчинки в куче песка, тяжелые камни на склоне горы, корни растений в почве. Именно сила трения покоя является той силой, благодаря которой движутся люди, животные, транспорт (рис. 21.3).

В технике, на транспорте, в быту часто принимают меры, чтобы поверхность одного тела не двигалась относительно поверхности другого. Например, для увеличения максимальной силы трения покоя тротуары во время гололедицы посыпают песком, зимой автомобили «переобувают» в зимние шины.

● Попробуйте привести еще несколько подобных примеров.



## 2 Выясняем, от чего зависит сила трения скольжения

**Сила трения скольжения**  $\vec{F}_{\text{тр. ск}}$  — это сила, которая возникает при скольжении одного тела по поверхности другого и направлена в сторону, противоположную направлению движения тела.

Сила трения скольжения действует вдоль поверхности соприкосновения тел (рис. 21.4) и немного меньше максимальной силы трения



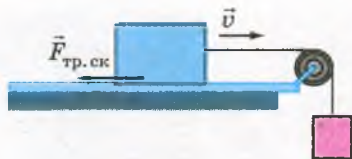
Рис. 21.1. Не удастся сдвинуть ящик с места — мешает сила трения покоя ( $\vec{F}_{\text{тр. п}}$ )



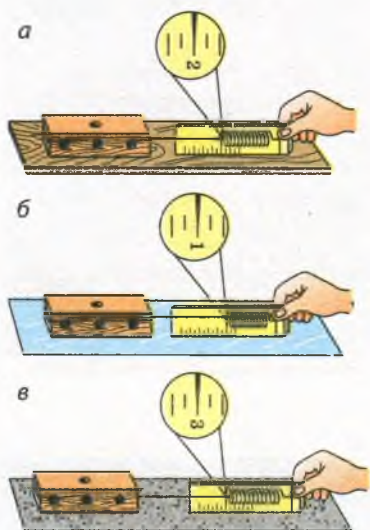
Рис. 21.2. Сила  $\vec{F}$ , которая пытается сдвинуть тело с места, и сила трения покоя  $\vec{F}_{\text{тр. п}}$ , которая при этом возникает, уравновешивают друг друга — тело находится в состоянии покоя



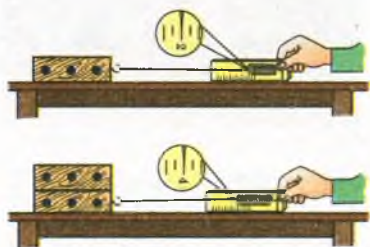
Рис. 21.3. В момент соприкосновения с поверхностью дороги ступни человека по сути пытаются совершить движение назад. В результате возникает сила трения покоя, направленная вперед, — «движущая» сила



**Рис. 21.4.** Сила трения скольжения действует вдоль поверхности соприкосновения тела и опоры и всегда направлена в сторону, противоположную направлению движения тела



**Рис. 21.5.** При скольжении одного и того же тела по разным поверхностям возникает разная сила трения скольжения: деревянный брусок скользит по деревянной доске (а); стеклу (б); наждачной бумаге (в)



**Рис. 21.6.** Сила трения скольжения возрастет, если увеличить силу, прижимающую тело к поверхности стола

покоя. Именно поэтому тела сдвигаются с места рывком и сдвинуть их тяжелее, чем затем двигать. Это особенно заметно, когда тела массивные.

Прикрепим к деревянному бруску крючок динамометра и будем равномерно тянуть брусок по горизонтальной поверхности (рис. 21.5). На брусок в направлении его движения действует сила упругости со стороны пружины динамометра, а в противоположном направлении — сила трения скольжения. Брусок движется *равномерно*, поэтому сила упругости *уравновешивает* силу трения скольжения. Следовательно, динамометр показывает значение силы трения скольжения.

Рассмотрите рис. 21.5 и сделайте вывод о том, как зависит сила трения скольжения от свойств соприкасающихся поверхностей.

*Обратите внимание:* если провести те же опыты, перевернув брусок на меньшую грань, показания динамометра не изменятся. Сила трения скольжения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей.

Проведем еще один опыт. Положим на брусок дополнительный груз, увеличив таким образом силу нормальной реакции опоры (рис. 21.6). Опыт покажет, что сила трения скольжения возросла.

Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормальной реакции опоры\*:

$$F_{\text{тр.ск}} = \mu N,$$

где  $N$  — сила нормальной реакции опоры;  $\mu$  — коэффициент пропорциональности, который называют **коэффициент трения скольжения**.

\* Этот закон был установлен французским ученым Г. Амонтоном и проверен его соотечественником Ш. Кулоном, поэтому получил название *закон Амонтона — Кулона*.

Поскольку и силу трения скольжения, и силу нормальной реакции опоры измеряют в ньютонах, коэффициент трения скольжения — величина, не имеющая размерности:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр. ск}}}{N} \Rightarrow [\mu] = \frac{Н}{Н} = 1.$$

Коэффициент трения скольжения определяется, в частности, материалами, из которых изготовлены соприкасающиеся тела, и качеством обработки их поверхностей.

Значения коэффициентов трения скольжения устанавливают экспериментально. Таблицы коэффициентов трения скольжения обычно содержат ориентировочные средние значения для пар материалов (см. таблицу).

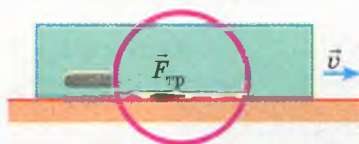
### **3** Выясняем причины возникновения и способы уменьшения силы трения

Поверхности твердых тел всегда шероховатые, неровные. При движении или попытке движения неровности цепляются друг за друга и деформируются или даже сминаются. В результате возникает сила, противодействующая движению тела, — сила трения (рис. 21.7). Сила трения, как и сила упругости, — проявление сил межмолекулярного взаимодействия.

Казалось бы, для уменьшения силы трения нужно тщательно отполировать поверхности и таким образом свести неровности к минимуму. Однако в таком случае поверхности будут настолько плотно прилегать друг к другу, что значительное количество молекул окажется на расстоянии, на котором становится существенным межмолекулярное притяжение. В результате сила трения возрастет\*.

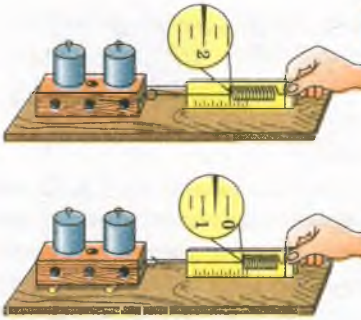
Силу трения скольжения можно уменьшить, смазав соприкасающиеся поверхности. Смазка (как правило, жидкая), попав между соприкасающимися поверхностями, отдалит их друг от друга. То есть будут скользить не поверхности тел, а слои смазки, — трение скольжения (так называемое сухое трение) сменится вязким (жидким) трением, при котором сила трения значительно меньше.

Материалы	Коэффициент трения скольжения
Сталь по льду	0,02
Сталь по стали	0,15
Бронза по бронзе	0,20
Дерево по дереву	0,25
Бумага (картон) по дереву	0,40
Кожа по чугуну	0,56
Резина по бетону	0,75



**Рис. 21.7.** Возникновение силы трения связано с наличием неровностей на поверхностях соприкасающихся тел

\* Исследование трения и обоснование причин его возникновения достаточно сложны и выходят за рамки школьного курса физики.



**Рис. 21.8.** Если под деревянный брусок подложить круглые карандаши, то передвигать брусок станет значительно легче



**Рис. 21.9.** Замена скольжения на качение приводит к уменьшению силы трения



**Рис. 21.10.** Шариковые и роликовые подшипники

**4 Узнаем о силе трения качения**

Давний опыт человечества показывает, что, например, каменную глыбу легче перекачать на бревнах, чем просто тащить по земле.

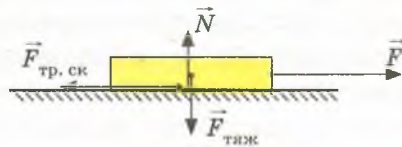
Если одно тело катится вдоль поверхности другого, то мы имеем дело с трением качения. Сила трения качения обычно намного меньше, чем сила трения скольжения (рис. 21.8, 21.9). Поэтому для уменьшения силы трения люди издавна используют колесо, а в различных механизмах — подшипники (рис. 21.10).

**5 Учимся решать задачи**

**Задача.** Чтобы равномерно двигать по столу книгу массой 1 кг, нужно приложить горизонтальную силу 2 Н. Чему равен коэффициент трения скольжения между книгой и столом?

*Анализ физической проблемы.* Выполним пояснительный рисунок, на котором изобразим все силы, действующие на книгу:  $\vec{F}_{\text{тяж}}$  — сила тяжести;  $\vec{N}$  — сила нормальной реакции опоры;  $\vec{F}$  — сила, под действием которой книга движется по поверхности стола;  $\vec{F}_{\text{тр.ск}}$  — сила трения скольжения.

Книга движется равномерно, следовательно, силы, действующие на нее, попарно скомпенсированы:  $F = F_{\text{тр.ск}}$ ,  $N = F_{\text{тяж}}$ . Исходя из этого и найдем искомый коэффициент трения.



**Дано:**

$F = 2 \text{ Н}$

$m = 1 \text{ кг}$

$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

**Найти:**

$\mu - ?$

*Поиск математической модели, решение.* По формуле для определения силы трения скольжения имеем:

$$F_{\text{тр.ск}} = \mu N \Rightarrow \mu = \frac{F_{\text{тр.ск}}}{N}$$

Поскольку  $F_{\text{тр.ск}} = F$ , а

$$N = F_{\text{тяж}} = mg, \text{ то } \mu = \frac{F}{mg}$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[\mu] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}}{\frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{\text{Н}}{\text{Н}} = 1; \mu = \frac{2}{1 \cdot 10} = \frac{2}{10} = 0,2.$$

*Анализ результатов:* коэффициент трения 0,2 соответствует паре «дерево по дереву»; результат правдоподобен.

*Ответ:*  $\mu = 0,2$ .



### Подводим итоги

Сила трения покоя ( $F_{\text{тр. п}}$ ) — это сила, возникающая между двумя соприкасающимися телами при попытке сдвинуть одно тело относительно другого. Сила трения покоя всегда препятствует появлению относительного движения соприкасающихся тел; она равна по значению и противоположна по направлению силе  $F$ , пытающейся сдвинуть тело с места:  $F_{\text{тр. п}} = F$ .

Сила трения скольжения ( $F_{\text{тр. ск}}$ ) — это сила, возникающая при скольжении одного тела по поверхности другого. Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормальной реакции опоры  $N$ :  $F_{\text{тр. ск}} = \mu N$ , где  $\mu$  — коэффициент трения скольжения, зависящий от материалов, из которых изготовлены соприкасающиеся тела, качества обработки их поверхностей. Смазка поверхностей существенно уменьшает силу трения.

При качении одного тела по поверхности другого возникает сила трения качения, которая обычно меньше силы трения скольжения.



### Контрольные вопросы

1. Какие виды трения вы знаете? 2. Какая сила мешает сдвинуть с места большой шкаф? Куда направлена эта сила? 3. Почему силу трения покоя называют движущей силой? 4. Зачем зимой тротуары посыпают песком? 5. Когда наблюдается сила трения скольжения и от каких факторов она зависит? 6. Почему в таблице коэффициентов трения скольжения представлены пары материалов, а не каждый материал отдельно? 7. Почему возникает сила трения скольжения? 8. Как можно уменьшить силу трения скольжения? 9. Почему круглое тело легче катить, чем тащить?



### Упражнение № 21

1. Действует ли сила трения на книгу, неподвижно лежащую на горизонтальной поверхности стола?
2. Чтобы открутить гайку, необходимо приложить силу. Почему гайка открутится намного легче, если винт, на который она накручена, смазать?
3. К бруску, расположенному на поверхности стола, с помощью динамометра прикладывают горизонтальную силу 3 Н. Брусок при этом движется равномерно в направлении действия силы.
  - а) Чему равна сила трения, действующая на брусок?
  - б) Как будет вести себя брусок и какой будет сила трения, если динамометр будет показывать 2 Н?



4. Пытаясь сдвинуть с места шкаф, к нему прикладывают постепенно увеличивающуюся горизонтальную силу. Шкаф начал двигаться, когда сила достигла 175 Н.
- а) Как изменялась сила трения между шкафом и полом?
  - б) Что будет происходить, если продолжить увеличивать силу?
  - в) Каков коэффициент трения скольжения между шкафом и полом, если масса шкафа равна 70 кг?
5. С помощью пружины жесткостью 96 Н/м брусок массой 2,4 кг равномерно тянут по столу. Определите удлинение пружины, если коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2.
6. Составьте задачу, обратную задаче, рассмотренной в § 21, и решите ее. Заметьте, что значения физических величин в условии и полученный результат должны быть реальными.
7. Уменьшение трения благодаря расположению твердых катков между тяжелым телом и поверхностью земли хорошо известно. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и подготовьте сообщение о соответствующих исторических примерах.
8. Заполните таблицу.



Масса тела $m$ , кг	Объем тела $V$ , м <sup>3</sup>	Средняя плотность тела $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Вес тела $P$ , Н
7,8	0,001		
	0,5	600	
		2500	50



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

**Тема.** Определение коэффициента трения скольжения.

**Цель:** определить коэффициент трения скольжения дерева по дереву.

**Оборудование:** деревянный брусок; деревянная доска (трибометр); набор грузов; динамометр.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



#### Подготовка к эксперименту

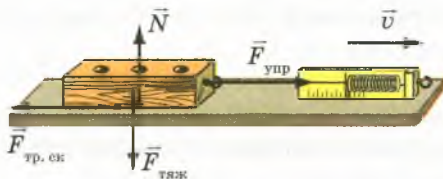
- Прежде чем приступить к выполнению работы, вспомните ответы на следующие вопросы.
  - От каких факторов зависит сила трения скольжения и куда она направлена?
  - По какой формуле вычисляют силу трения скольжения?
- Определите цену деления шкалы динамометра.



#### Эксперимент

*Строго придерживайтесь инструкции по безопасности (см. форзац). Результаты измерений сразу заносите в таблицу.*

1. Подвесьте брусок к динамометру; измерьте вес бруска — во время эксперимента он будет равен силе нормальной реакции опоры ( $N = P$ ).
2. Прикрепив брусок к крючку динамометра, положите брусок широкой стороной на горизонтально расположенную доску. Равномерно перемещайте брусок вдоль доски (см. рисунок). По показанию динамометра определите силу трения скольжения ( $F_{\text{тр.ск}} = F_{\text{упр}}$ ).



3. Повторите эксперимент еще три раза, положив на брусок сначала один груз, затем одновременно два груза, а затем одновременно три груза ( $N = P_{\text{брус}} + P_{\text{груза}}$ ).

Номер опыта	Сила трения скольжения $F_{\text{тр.ск}}$ , Н	Сила нормальной реакции опоры $N$ , Н	Коэффициент трения скольжения $\mu$

### ► Обработка результатов эксперимента

Для каждого опыта вычислите коэффициент трения скольжения по формуле:  $\mu = \frac{F_{\text{тр.ск}}}{N}$ , результаты занесите в таблицу.

### ▣ Анализ эксперимента и его результатов

Сделайте вывод, в котором укажите: 1) какую физическую величину вы измеряли; 2) зависит ли коэффициент трения скольжения от веса тела; 3) совпадают ли полученные результаты с табличным значением коэффициента трения скольжения дерева по дереву; 4) какие факторы повлияли на точность эксперимента.

### + Творческое задание

Запишите план проведения эксперимента, который подтверждает, что коэффициент трения скольжения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей. Проведите этот эксперимент.

### \* Задание «со звездочкой»

Для опыта 1:

- а) определите относительную погрешность измерения силы трения скольжения и силы реакции опоры:  $\varepsilon_F = \frac{\Delta F}{F}$ ,  $\varepsilon_N = \frac{\Delta N}{N}$ . Здесь

$\Delta F = \Delta N$  — цена деления шкалы динамометра;

- б) определите относительную и абсолютную погрешности измерения коэффициента трения скольжения:  $\varepsilon_\mu = \varepsilon_F + \varepsilon_N$ ;  $\Delta\mu = \varepsilon_\mu \cdot \mu$ .

## Задания для самопроверки к разделу 3 «Взаимодействие тел. Сила». Часть I. Сила. Виды сил

В заданиях 1–8 выберите один правильный ответ.

1. (1 балл) Если на тело не действуют другие тела, то тело движется:
  - а) прямолинейно с уменьшающейся скоростью;
  - б) прямолинейно с увеличивающейся скоростью;
  - в) равномерно по криволинейной траектории;
  - г) равномерно прямолинейно.
  
2. (1 балл) Деформация тела является причиной возникновения силы:
  - а) тяжести; б) упругости; в) трения скольжения; г) трения покоя.
  
3. (1 балл) Сила тяжести — это:
  - а) сила притяжения тела к Земле;
  - б) сила, возникающая при любой деформации тела;
  - в) сила, с которой тело давит на опору или растягивает подвес;
  - г) сила, возникающая при скольжении тела.
  
4. (1 балл) На чашках уравновешенных весов лежат два кубика (рис. 1). Одинаковы ли плотности веществ, из которых изготовлены кубики?
  - а) да;
  - б) нет, плотность кубика 1 меньше плотности кубика 2;
  - в) нет, плотность кубика 1 больше плотности кубика 2;
  - г) определить невозможно.

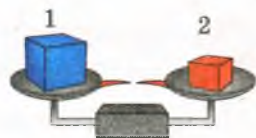


Рис. 1

5. (2 балла) Одно из самых крупных насекомых обитает в Новой Зеландии (рис. 2). Его масса достигает 80 г. С какой силой Земля притягивает это насекомое?
  - а) 8 мН; б) 80 мН; в) 0,8 Н; г) 8 Н.
  
6. (2 балла) Чтобы растянуть недеформированную пружину на 5 см, требуется приложить силу 15 Н. Какова жесткость пружины?
  - а) 0,3 Н/м; б) 75 Н/м;
  - в) 3 Н/м; г) 300 Н/м.



Рис. 2

7. (2 балла) Шарик подвешен к динамометру (рис. 3). Чему равна масса шарика?
  - а) 3,5 г; б) 35 г; в) 350 г; г) 3,5 кг.
  
8. (2 балла) Масса тела объемом 1 см<sup>3</sup>, изготовленного из золота, больше, чем масса свинцового тела того же объема, на:
  - а) 8,0 г; б) 11,3 г; в) 8 кг; г) 11,3 кг.

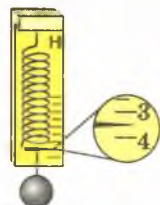


Рис. 3

9. (2 балла) На рис. 4 изображены силы, действующие на тело, которое с помощью динамометра равномерно перемещают по столу в горизонтальном направлении. Назовите эти силы. Сравните их.

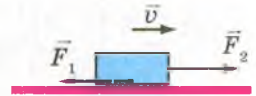


Рис. 4

10. (3 балла) На кирпич массой 8 кг, лежащий на полу, положили такой же кирпич (рис. 5). Выполните схематический рисунок в тетради и изобразите силы, действующие на нижний кирпич. Масштаб: 1 см — 40 Н.



Рис. 5

11. (3 балла) Установите соответствие между названием силы и явлением, происходящим благодаря действию этой силы.

- |                          |                                         |
|--------------------------|-----------------------------------------|
| А Сила упругости         | 1 Гепард разгоняется во время охоты     |
| Б Сила трения скольжения | 2 Самолет осуществляет полет            |
| В Сила трения покоя      | 3 Конькобежец тормозит после финиша     |
| Г Сила тяжести           | 4 Капли дождя скатываются с крыши       |
|                          | 5 Стрела набирает скорость при выстреле |

12. (3 балла) Ведро объемом 12 л наполнили водой на треть. С какой силой ведро давит на пол? Массой ведра пренебречь.

13. (3 балла) В пустой мерный цилиндр налили жидкость (рис. 6). Сила тяжести, которая действует на жидкость, равна 1,75 Н. Определите, какую жидкость налили в цилиндр.

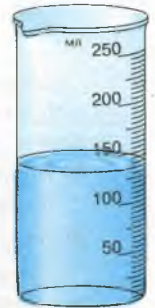


Рис. 6

14. (4 балла) Чтобы сани равномерно двигались по горизонтальной дороге, к ним нужно прикладывать горизонтальную силу 500 Н. Определите массу саней, если коэффициент трения между санями и дорогой равен 0,2.

15. (4 балла) На рис. 7 представлен график зависимости удлинения пружины от массы подвешенного к ней груза. Определите жесткость пружины.

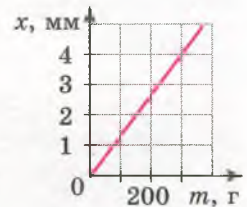


Рис. 7

16. (4 балла) Чтобы получить латунь, переплавили медь объемом 0,2 м<sup>3</sup> и цинк объемом 50 дм<sup>3</sup>. Какова плотность полученной латуни? Объем сплава равен сумме объемов его составных частей.

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Потом эту сумму разделите на три. Полученное число будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.



Тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой вы найдете на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение».

## ЧАСТЬ II. ДАВЛЕНИЕ. ЗАКОН АРХИМЕДА. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

### § 22. ДАВЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ НА ПОВЕРХНОСТЬ. СИЛА ДАВЛЕНИЯ



Почему жители Севера для передвижения по снегу используют лыжи? Почему женщина, обутая летом в обувь на шпильках, оставляет на мягком асфальте заметные и глубокие следы? Зачем лезвия ножей время от времени натачивают? Для чего у гвоздя есть острие? Попробуем выяснить ответы на эти вопросы.

#### 1 Наблюдаем последствия действия силы

Одно из последствий действия силы — деформация тел, при этом чем большая сила действует на тело, тем больше будет деформация.



Деформация зависит и от других факторов, в частности от площади поверхности, по которой распределяется действие силы. В большинстве случаев *чем больше площадь поверхности, на которую действует данная сила, тем меньше будет деформация.*

**Рис. 22.1.** Деревянный брусок проваливается в снег глубже, если он поставлен на меньшую грань

Проиллюстрируем это утверждение с помощью простого опыта: поставим деревянный брусок на снег сначала гранью меньшей площади, а затем — гранью большей площади (рис. 22.1). В первом случае снег деформируется сильнее (брусок глубже провалится в снег), хотя в обоих случаях сила, действующая на снег со стороны бруска (то есть вес бруска), одинакова.



**Рис. 22.2.** Если на поверхность песка нажать рукой, то глубина следа будет зависеть от того, как именно это было сделано — ладонью или пальцем (при одинаковой силе давления)

Можно провести еще один опыт: нажми-те с одинаковой небольшой силой на поверхность песка сначала раскрытой ладонью, а затем пальцем — и вы увидите, в каком случае глубина следа будет больше (рис. 22.2).

#### 2 Даем определение давления

Для характеристики зависимости результата действия силы от площади поверхности, на которую действует эта сила, используют такое понятие, как *давление*.

**Давление** — это физическая величина, которая характеризует результат действия силы и равна отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности:

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

где  $p$  — давление;  $F$  — сила давления — сила, действующая на поверхность перпендикулярно этой поверхности;  $S$  — площадь поверхности.

Единица давления в СИ — паскаль (Па); названа в честь французского ученого *Блеза Паскаля* (рис. 22.3):

$$[p] = \text{Па}.$$

1 Па — это давление, которое создает сила 1 Н, действуя перпендикулярно поверхности площадью 1 м<sup>2</sup>:

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

1 Па — небольшое давление (примерно такое давление оказывает на стол альбомный лист для рисования), поэтому чаще используют кратные единицы давления: гектопаскаль (1 гПа = 100 Па), килопаскаль (1 кПа = 1000 Па), мегапаскаль (1 МПа = 1 000 000 Па).

Рассмотрите таблицу и подумайте, почему, например, гусеницы трактора оказывают на грунт намного меньшее давление, чем колеса легкового автомобиля.

**3** **Выясняем, как можно увеличить или уменьшить давление**

Из определения давления ( $p = \frac{F}{S}$ ) следует, что давление твердых тел можно изменить двумя способами.

*Первый способ:* изменить силу, действующую на поверхность данной площади. С увеличением силы давление увеличивается; с уменьшением силы давление уменьшается.

*Второй способ:* изменить площадь поверхности, на которую действует данная сила давления. Для увеличения давления площадь



**Рис. 22.3.** Блез Паскаль (1623–1662) — французский математик, физик, философ, писатель. Имел удивительно разносторонние интересы, что, впрочем, было характерно для ученых эпохи Возрождения

*Давление, которое оказывают некоторые тела*

Тело, оказывающее давление	Давление $p$ , кПа
Стоящий человек на пол	20–30
Гусеницы трактора на грунт	40–50
Колеса легкового автомобиля на грунт	200–300
Лезвие лопаты на грунт	1000–2000
Швейная игла на ткань	До 100 000
Колеса железнодорожного вагона на рельсы	300 000
Зубы собаки на кость	До 150 000
Жало осы на кожу	33 000 000



**Рис. 22.4.** Чтобы прикладывать меньше усилий при работе с некоторыми инструментами, их натачивают



**Рис. 22.5.** Человек провалился в снег, а вездеход остался на его поверхности

нужно уменьшить (именно поэтому натачивают инструменты — ножницы, ножи, шила и т. п.) (рис. 22.4). Для уменьшения давления площадь поверхности нужно увеличить.

Рассмотрите рис. 22.5 и объясните, почему человек оказывает на снег большее давление, чем тяжелый вездеход.

4

#### Учимся решать задачи

**Задача.** Сравните давления, которые оказывают на поверхность снега юные спортсмены — турист и лыжник. Масса каждого из них вместе со снаряжением равна 63 кг. Площадь подошвы ботинка туриста — приблизительно 210 см<sup>2</sup>, площадь лыжи — приблизительно 1800 см<sup>2</sup>.

*Анализ физической проблемы.* Давление, которое оказывает каждый спортсмен, определяется силой давления и площадью, на которую он опирается. В обоих случаях сила давления — это вес спортсмена; он распределяется на две подошвы или две лыжи. Будем считать, что на обе подошвы (лыжи) нагрузка распределяется равномерно. Задачу будем решать в единицах СИ.

Дано:

$$m_1 = m_2 = 63 \text{ кг}$$

$$S_{01} = 210 \text{ см}^2 =$$

$$= 0,021 \text{ м}^2$$

$$S_{02} = 1800 \text{ см}^2 =$$

$$= 0,18 \text{ м}^2$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Найти:

$$p_1 \text{ — ?}$$

$$p_2 \text{ — ?}$$

*Поиск математической модели, решение.*

По определению давления:  $p = \frac{F}{S}$ . Здесь  $F = P = mg$ , а  $S = 2S_0$ . Подставив выражения для  $F$  и  $S$  в формулу давления, имеем:  $p = \frac{mg}{2S_0}$ .

Проверим единицу, найдем значения искомых ве-

$$\text{личин: } [p] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па};$$

$$\text{для туриста: } p_1 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0,021} = \frac{30}{0,002} = 15\,000 \text{ (Па);}$$

$$p_1 = 15 \text{ кПа;}$$

для лыжника:  $p_2 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0,18} = \frac{70}{0,04} = 1750$  (Па);  $p_2 = 1,75$  кПа.

*Анализ результатов.* Давление, создаваемое туристом, приблизительно в 8,6 раза больше давления, создаваемого лыжником. Это реальный результат, ведь при равных силах большее давление создает та сила, которая действует на меньшую площадь.

*Ответ:*  $p_1 = 15$  кПа;  $p_2 = 1,75$  кПа;  $p_1 > p_2$ .



### Подводим итоги

Давление  $p$  — это физическая величина, которая характеризует результат действия силы и равна отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности:  $p = \frac{F}{S}$ . Единица давления в СИ — паскаль  $\left(1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$ .

Для увеличения давления следует уменьшить площадь поверхности, на которую действует сила давления, или увеличить силу давления.

Для уменьшения давления нужно увеличить площадь поверхности, на которую действует сила давления, или уменьшить силу давления.



### Контрольные вопросы

1. От чего зависит результат действия силы?
2. Дайте определение давления.
3. Назовите единицу давления в СИ.
4. Дайте определение единицы давления.
5. Как можно увеличить давление? Как можно уменьшить давление? Приведите примеры.



### Упражнение № 22

1. Человек, сидящий на диване, оказывает на его поверхность определенное давление. Как изменится давление, если человек ляжет на диван?
2. Почему оса своим жалом (рис. 1) может создать давление намного большее, чем то, которое оказывает на пол стоящий человек?
3. Площадь режущего края лопаты равна  $70 \text{ мм}^2$ . Какое давление создает лопата на грунт, если человек действует на лопату с силой  $210 \text{ Н}$ ?
4. Давление гусеничного трактора на грунт равно  $27 \text{ кПа}$ . Что это означает? С какой силой трактор давит на грунт, если площадь, на которую опираются его гусеницы, равна  $2,9 \text{ м}^2$ ?
5. Выразите давление в паскалях:  $0,35 \text{ кН/м}^2$ ;  $1,5 \text{ Н/см}^2$ ;  $36 \text{ мН/см}^2$ .
6. Мальчик выехал на лыжах на заснеженную поляну. Ее снеговой покров (наст) выдерживает давление  $2 \text{ кПа}$ . Ширина каждой лыжи —  $10 \text{ см}$ , длина —  $1,5 \text{ м}$ . Какой может быть максимальная масса мальчика, чтобы он не проваливался в снег?



Рис. 1



7. Никто не может быть полностью застрахован от несчастного случая на водоеме, покрытом льдом. Как должны вести себя спасатель и сам пострадавший, если произошла беда и человек провалился под лед (рис. 2)? Поясните их действия.



Рис. 2

8. При одинаковой площади поверхности давление прямо пропорционально силе давления. Постройте график зависимости давления на поверхность площадью  $0,25 \text{ м}^2$  от силы давления.
9. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и выясните, какое давление оказывают животные на поверхность. Как это давление зависит от условий их обитания? (Сравните, например, давления, создаваемые копытами горного козла и северного оленя.) Как животные увеличивают и уменьшают создаваемое ими давление?



### Экспериментальное задание

«Вверх ногами». Во сколько раз изменится давление, создаваемое вашим письменным столом на пол, если стол перевернуть ножками вверх? Ответ на вопрос надо найти, не переворачивая и не взвешивая стол!

### Физика и техника в Украине



**Степан Прокофьевич Тимошенко** (1878–1972) — выдающийся украинский ученый-механик, один из основателей и первых академиков Украинской академии наук, основатель Института механики АН Украины, школы прикладной механики в США.

Основные направления научной работы С. П. Тимошенко: сопротивление материалов, теория упругости, теория колебаний механических систем, теория сооружений и строительная механика. Огромный вклад ученый сделал в развитие прикладной теории упругости, теории устойчивости упругих, оболочковых и пластинчатых систем.

Именно С. П. Тимошенко разработал общий энергетический метод расчетов устойчивости механических систем, широко известный как *метод Тимошенко*.

## § 23. ДАВЛЕНИЕ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

Почему при надувании резинового воздушного шарика увеличивается его объем? Ответ понятен: в шарике становится больше воздуха. А можно ли увеличить объем шарика без того, чтобы его надувать? Почему налитая в сосуд жидкость создает давление не только на дно сосуда, но и на его боковые поверхности? Почему водитель, нажимая на тормоз, может остановить тяжелый автомобиль? Попробуем «разгадать» эти загадки.

## 1 Узнаем, почему газы создают давление

Положим слегка надутый завязанный воздушный шарик под колокол воздушного насоса (рис. 23.1, а). Если из-под колокола откачивать воздух, объем шарика будет увеличиваться (рис. 23.1, б). Почему это происходит?

И снаружи шарика, и внутри него находится воздух (газ). Газ состоит из частиц (атомов и молекул), которые непрерывно движутся *во всех направлениях* и «бомбардируют» резиновую пленку, создавая на нее давление (рис. 23.2). Понятно, что сила удара одной частицы очень мала. Однако частиц в газе очень много — всего за 1 секунду количество их ударов по поверхности пленки таково, что для его записи требуется число с 23 нулями! Поэтому общая сила, с которой ударяет такое огромное количество частиц, является значительной.

Воздух внутри и снаружи шарика оказывает давление соответственно на внутреннюю и внешнюю поверхности резиновой пленки. Если эти давления одинаковы, резиновая пленка не растягивается. А вот если давление внутри шарика становится больше внешнего давления, то шарик увеличивает свой объем.

Надеемся, теперь вы сможете объяснить, почему воздушный шарик раздувается и тогда, когда мы его надуваем, и тогда, когда откачиваем воздух снаружи шарика.

## 2 Выясняем, от чего зависит давление газов

Давление газа создается ударами его частиц, поэтому увеличение как количества ударов, так и силы ударов приводит к увеличению давления газа. Следовательно, давление газов можно увеличить двумя способами.

Первый способ — *увеличить плотность газа* ( $\rho = \frac{m}{V}$ ). Для этого можно добавить газ в сосуд (увеличить массу  $m$  газа), а можно уменьшить объем  $V$  самого сосуда (рис. 23.3).

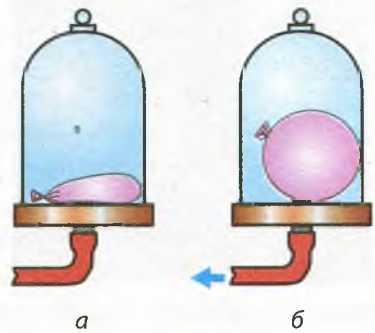


Рис. 23.1. Объем слегка надутого воздушного шарика (а) увеличивается при уменьшении внешнего давления (б)

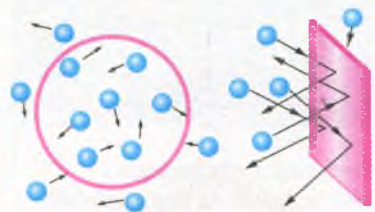


Рис. 23.2. Давление газа на поверхность создается многочисленными ударами молекул газа

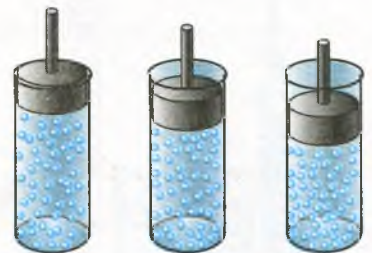
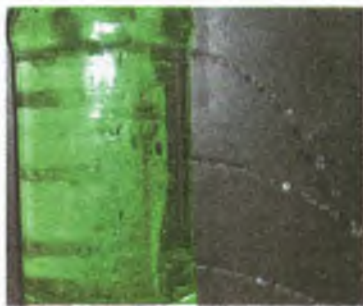


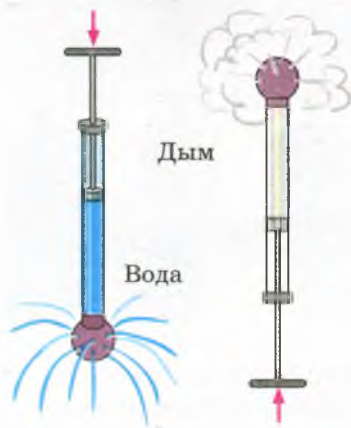
Рис. 23.3. Если с помощью поршня уменьшить объем газа, то увеличится количество ударов молекул газа на единицу площади стенок сосуда — давление газа возрастет



**Рис. 23.4.** Жидкость создает давление и на боковые стенки сосудов



**Рис. 23.5.** Вода передает оказываемое на нее давление во всех направлениях и в результате выливается из отверстий в пакете во все стороны



**Рис. 23.6.** Газ, как и жидкость, передает оказываемое на него давление во всех направлениях

Второй способ — *увеличить температуру газа*. Чем выше температура газа, тем быстрее движутся его частицы. Удары частиц о стенки сосуда становятся чаще, сила их ударов возрастает, и в результате давление газа в сосуде увеличивается.

Соответственно *уменьшение давления газа будет происходить при уменьшении плотности или температуры газа*.

### **3** Исследуем давление жидкостей

В отличие от твердых тел жидкости легко изменяют свою форму — они приобретают форму того сосуда, в котором находятся, другими словами, *жидкости текучи*. Именно поэтому жидкости оказывают давление и на дно, и на боковые стенки сосуда, в котором находятся (в отличие от твердых тел, которые оказывают давление только на ту часть поверхности, на которую опираются). Если в боковой стенке сосуда, заполненного жидкостью, сделать отверстия, то жидкость польется через них (рис. 23.4).

Следствием текучести жидкостей является также то, что *на любое погруженное в жидкость тело жидкость давит со всех сторон*.

### **4** Открываем закон Паскаля

Благодаря своей текучести жидкость способна передавать давление по всему объему сосуда, в котором находится. Сделав иглой небольшие отверстия в полиэтиленовом пакете, наберем в пакет воду и завяжем. Нажмем на пакет — вода будет выливаться из всех отверстий (рис. 23.5). Аналогичный эксперимент можно провести с воздухом или другим газом (рис. 23.6). Опираясь на подобные опыты, французский физик *Б. Паскаль* открыл закон, который сейчас называется **закон Паскаля**:

Давление, оказываемое на неподвижную жидкость, передается жидкостью одинаково во всех направлениях.

То же самое можно сказать о газах.

### 5 Применяем закон Паскаля

Свойство жидкостей и газов передавать давление во всех направлениях мы наблюдаем в повседневной жизни; это свойство широко используют в технике. Благодаря ему мы имеем возможность слышать, ведь воздух передает звук; работает наша сердечно-сосудистая система, ведь несмотря на то, что кровеносные сосуды имеют большое количество изгибов, давление, создаваемое сердцем, передается во все части тела.

На законе Паскаля основана система торможения многих транспортных средств, действие домкратов, насосов и других *гидравлических машин*.

Рассмотрим принцип действия гидравлических машин на примере *гидравлического пресса*, который применяют для прессования фанеры и картона, отжима растительных масел, изготовления деталей машин и механизмов и т. п.

**Гидравлический пресс** — это простейшая гидравлическая машина, которую используют для создания больших сил давления.

Гидравлический пресс состоит из двух соединенных между собой цилиндров разного диаметра, заполненных рабочей жидкостью (чаще машинным маслом) и закрытых подвижными поршнями (см. рис. 23.7).

Если к поршню меньшего цилиндра приложить силу  $F_1$  (см. рис. 23.7, б), то эта сила создаст на поверхность жидкости некоторое дополнительное давление  $p$ :

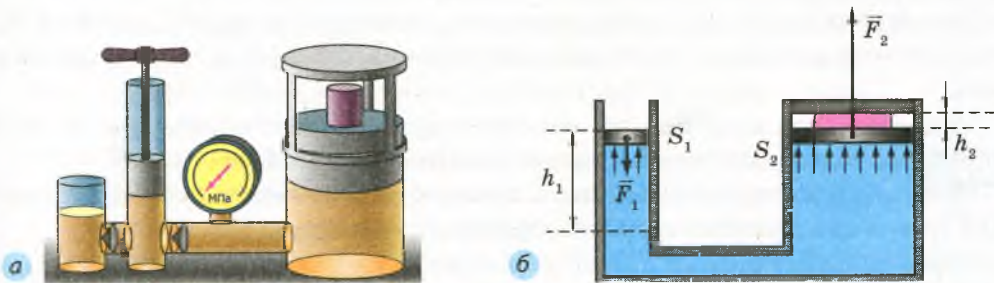
$$p = \frac{F_1}{S_1},$$

где  $S_1$  — площадь меньшего поршня.

Согласно закону Паскаля это дополнительное давление будет передаваться во все точки жидкости, заполняющей сообщающиеся цилиндры. Следовательно, жидкость начнет давить на поршень большего цилиндра с некоторой силой  $\bar{F}_2$ :

$$F_2 = pS_2,$$

где  $S_2$  — площадь большего поршня;  $p$  — дополнительное давление.



**Рис. 23.7.** Гидравлический пресс позволяет получить выигрыш в силе: действуя меньшей силой  $F_1$  на малый поршень площадью  $S_1$ , имеем возможность сжимать (прессовать) большей силой  $F_2$  тело, расположенное над поршнем площадью  $S_2$



Поскольку  $p = \frac{F_1}{S_1}$ , имеем:  $F_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2$ , то  
 есть  $F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$ .

Сила давления, которая действует со стороны жидкости на большой поршень, больше силы, которая действует на малый поршень, во столько раз, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого:

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

**Рис. 23.8.** Гидравлический подъемник — пример гидравлической машины

Отношение  $\frac{F_2}{F_1}$  — это *выигрыш в силе*.

Гидравлический пресс позволяет получить значительный выигрыш в силе: *чем больше будут различаться между собой площади поршней, тем большим будет выигрыш в силе* (рис. 23.7).

По такому принципу работают и другие гидравлические инструменты и устройства. Так, гидравлический подъемник позволяет, приложив небольшую силу, поднять тяжелый автомобиль (рис. 23.8), гидравлический тормоз позволяет остановить автомобиль, приложив незначительную силу давления ноги, и т. д.

Опираясь на рис. 23.8, попробуйте разобраться, как работает гидравлический подъемник.



### Подводим итоги

Газ оказывает давление на поверхность в результате многочисленных ударов об эту поверхность частиц газа. Давление газа возрастает при увеличении плотности или температуры газа и уменьшается при уменьшении плотности или температуры газа.

Вследствие своей текучести жидкость оказывает давление на дно и боковые стенки сосуда, а также на любое тело, погруженное в данную жидкость.

Давление, оказываемое на неподвижную жидкость, передается этой жидкостью одинаково во всех направлениях (закон Паскаля).

Свойство жидкостей передавать давление одинаково во всех направлениях положено в основу действия гидравлических машин.

Сила, действующая со стороны жидкости на большой поршень гидравлической машины, больше силы, действующей на малый поршень, во столько раз, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого:  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ .

### Контрольные вопросы



1. Как можно доказать на опыте, что газы оказывают давление на стенки сосуда, в котором находятся? 2. В чем причина давления газов? 3. Почему давление газов возрастает с увеличением их плотности? 4. Как изменяется давление газов при увеличении или уменьшении их температуры? Ответ поясните. 5. Почему жидкость оказывает давление не только на дно сосуда, но и на его боковые стенки? 6. Сформулируйте закон Паскаля. 7. Докажите, что свойство жидкостей и газов передавать давление во всех направлениях имеет большое значение в нашей жизни. 8. Что такое гидравлический пресс и где его применяют?

### Упражнение № 23



1. Как будет изменяться давление в воздушном шарике, если его сначала надуть, а потом сильно сжать? Можно ли предусмотреть, в каком месте лопнет шарик?
2. Почему нельзя допускать чрезмерного нагревания газовых баллонов (даже с негорючим газом)?
3. Изменится ли, и если изменится, то как, давление в шинах велосипеда, если вы решите прокатить на нем своего приятеля (см. рис. 1)?
4. В нефтяной промышленности для поднятия нефти на поверхность земли используют сжатый воздух, который компрессорами нагнетают в пространство над поверхностью нефтеносного пласта. На каком законе основан этот способ? Поясните свой ответ.
5. Почему взрыв снаряда под водой губителен для обитающих в воде живых существ?
6. Если выстрелить из мелкокалиберного ружья в вареное яйцо, то в яйце образуется отверстие. Если выстрелить в сырое — яйцо разлетится. Объясните это явление.
7. В цилиндре под поршнем площадью  $80 \text{ см}^2$  находится вода. Груз какой массы нужно разместить на поршне, чтобы давление воды на дно цилиндра возросло на  $2 \text{ кПа}$ ?



Рис. 1

8. Площадь малого поршня гидравлической машины —  $15 \text{ см}^2$ , большого —  $3 \text{ дм}^2$ . Какова наибольшая масса груза, который можно поднять с помощью этой машины, если к малому поршню приложить силу  $200 \text{ Н}$ ?
9. Какие изменения будут происходить с уровнем жидкости в запаянной сверху трубке (рис. 2), если трубку охлаждать? нагревать?

10. Под действием силы  $300 \text{ Н}$  малый поршень гидравлической машины опустился на  $4 \text{ см}$ , а большой поднялся на  $1 \text{ см}$ . Определите силу, действовавшую на большой поршень.



Рис. 2

11. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, узнайте о работе гидравлических устройств (например, гидравлической системе торможения автомобиля, гидравлических ножницах, пневматических опрыскивателях для борьбы с сельскохозяйственными вредителями). Подготовьте сообщение об одном из устройств.



### Экспериментальные задания

1. «Быстрый ремонт». Возьмите теннисный шарик, на поверхности которого есть вмятина, и выпрямите ее, погрузив шарик на некоторое время в горячую воду. Что выдавит вмятину изнутри?
2. «Мыльные пузыри». Надуйте несколько мыльных пузырей. Почему они имеют форму шара?



### Физика и техника в Украине



**Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины (Киев)**, основанный в 1918 г., — один из ведущих в Украине и известный во всем мире исследовательский центр. Основные направления научной деятельности института: механика неоднородных сред, динамика и устойчивость механических систем, механика разрушения и усталость материалов.

Теоретические и экспериментальные результаты исследований сотрудников института находят применение в ракетно-космической, авиационной, судостроительной и других отраслях промышленности. В институте сформировались всемирно признанные школы механики, в частности школа Тимошенко, школа Крылова — Боголюбова — Митропольского, школа Гузя.

## § 24. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ



**Рис. 24.1.** Сила давления воды в кожаной подушке достаточна, чтобы удерживать взрослого человека

На рис. 24.1 изображен современник Блеза Паскаля, стоящий на кожаной подушке, заполненной водой. С подушкой соединена открытая сверху трубка — ее исследователь держит в руках. Почему доска, на которой стоит человек, не сжимает подушку полностью и не вытесняет через трубку всю воду наружу? Ответить на этот и многие другие вопросы вы сможете, ознакомившись с данным параграфом.

### 1 Получаем формулу для расчета гидростатического давления

Вы уже знаете, что в результате притяжения к Земле и благодаря собственной текучести жидкость оказывает давление как на дно, так и на стенки сосуда, в котором содержится. Жидкость оказывает давление и на любое погруженное в нее тело.

*Давление неподвижной жидкости называют гидростатическим давлением.*

Определим гидростатическое давление на дно сосуда. Чтобы упростить расчеты, возьмем цилиндрический сосуд с площадью дна  $S$ . Пусть в сосуд налита жидкость плотностью  $\rho$ , а высота столба жидкости в сосуде —  $h$  (рис. 24.2).

Чтобы вычислить давление, которое создает жидкость на дно сосуда, следует силу  $F$ , действующую на дно, разделить на площадь  $S$  дна:

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

В данном случае сила  $F$ , создающая давление на дно сосуда, — это вес  $P$  жидкости. Поскольку жидкость в сосуде неподвижна, вес жидкости равен произведению массы  $m$  жидкости на ускорение свободного падения  $g$ :

$$F = P = mg.$$

Массу жидкости найдем через объем и плотность жидкости:  $m = \rho V$ ; объем налитой в сосуд жидкости — через высоту  $h$  столба жидкости и площадь  $S$  дна сосуда:  $V = Sh$ . Следовательно, массу жидкости можно найти по формуле:

$$m = \rho Sh.$$

Подставив последовательно выражения для  $F$  и  $m$  в формулу давления, получим:

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh.$$

Итак, имеем формулу для расчета гидростатического давления — *давления, которое создает неподвижная жидкость*:

$$p = \rho gh$$

Как видим, гидростатическое давление зависит только от плотности жидкости и высоты столба жидкости в сосуде.

## 2 Проводим исследования и делаем выводы

Зависимость гидростатического давления от высоты столба жидкости впервые продемонстрировал Блез Паскаль. Взяв бочку, до краев заполненную водой, исследователь герметично закрыл ее крышкой со вставленной длинной тонкой трубкой. Поднявшись на балкон второго этажа жилого дома, Паскаль вылил в трубку всего один стакан воды. Вода заполнила всю трубку и создала на стенки и дно бочки такое огромное давление, что в боковых стенках бочки появились щели (рис. 24.3).

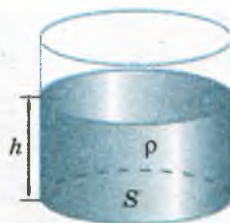


Рис. 24.2. Вследствие притяжения Земли жидкость создает давление на дно сосуда



Рис. 24.3. В 1648 г. Блез Паскаль, добавив в трубку всего один стакан воды, «разорвал» бочку





**Рис. 24.4.** Давление воды на обоих водолазов одинаково, так как они находятся на одном уровне

*Обратите внимание!* Согласно закону Паскаля давление жидкости передается во всех направлениях, а значит, по формуле  $p = \rho gh$  можно также определить давление, которое создает слой жидкости высотой  $h$  на любое тело, погруженное в эту жидкость на данную глубину, а также давление на стенки сосуда.

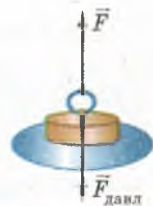
Из закона Паскаля и формулы гидростатического давления также следует, что давление внутри неподвижной однородной жидкости на одном уровне\* одинаково.

Рассмотрите рис. 24.4. Казалось бы, давление воды на дне подводной пещеры меньше, чем на дне открытого моря. Однако, если бы это действительно было так, вследствие большего давления вода из моря хлынула бы в пещеру. Но этого не происходит.

### 3 Учимся решать задачи

**Задача.** На дне бассейна расположено круглое отверстие, закрытое пробкой радиусом 5 см. Какую силу нужно приложить к пробке, чтобы вынуть ее из отверстия, если высота воды в бассейне 2 м? Массой пробки и силой трения между пробкой и отверстием пренебречь.

*Анализ физической проблемы.* Вынуть пробку мешает сила давления воды в бассейне. Массу пробки и силу трения учитывать не нужно, поэтому сила, необходимая для того, чтобы вынуть пробку из отверстия, по значению должна быть не меньше, чем сила гидростатического давления воды на пробку:  $F = F_{\text{давл}}$  (см. рисунок).



**Дано:**  
 $r = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$   
 $h = 2 \text{ м}$   
 $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

**Найти:**  
 $F - ?$

*Поиск математической модели, решение.* По определению давления:

$$p = \frac{F_{\text{давл}}}{S} \Rightarrow F_{\text{давл}} = pS.$$

Здесь  $p = \rho gh$  — гидростатическое давление;  $S = \pi r^2$  — площадь круга. Подставив выражения для  $p$  и  $S$  в формулу для  $F_{\text{давл}}$ , получим:

$$F_{\text{давл}} = \rho gh \cdot \pi r^2.$$

Так как  $F = F_{\text{давл}}$ , окончательно имеем:  $F = \rho gh \cdot \pi r^2$ .

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

\* Уровнем называют любую горизонтальную поверхность.

$$[F] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 = \text{Н}; F = 1000 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot (0,05)^2 = 157 \text{ (Н)}.$$

Ответ: следует приложить силу не менее чем 157 Н.



### Подводим итоги

В результате притяжения к Земле жидкости создают давление на дно и стенки сосудов, а также на любое погруженное в них тело. Давление  $p$  неподвижной жидкости называют гидростатическим давлением — оно зависит только от плотности  $\rho$  жидкости и высоты  $h$  столба жидкости. Гидростатическое давление вычисляют по формуле  $p = \rho gh$ .

Давление внутри неподвижной однородной жидкости на одном уровне одинаково.



### Контрольные вопросы

1. Что вызывает возникновение давления жидкости на дно сосуда?
2. По какой формуле вычисляют гидростатическое давление жидкости?
3. Как изменяется давление в жидкости в зависимости от высоты столба жидкости? от плотности жидкости?
4. Опишите опыт Б. Паскаля, с помощью которого он продемонстрировал зависимость гидростатического давления воды от высоты ее столба.
5. Почему давление внутри неподвижной однородной жидкости на одном уровне одинаково?



### Упражнение № 24

1. Давление воды на дно сосуда в точке  $A$  равно 200 Па (рис. 1). Какое давление на дно создает вода в точке  $B$ ? в точке  $C$ ?
2. Некоторые любители фридайвинга могут погружаться на глубину 100 м. Определите, какое наибольшее гидростатическое давление действует на ныряльщиков во время такого погружения.
3. Изменится ли сила давления воды на дно стакана, если в стакан с водой опустить палец, не касаясь им дна? Если изменится, то как?
4. На какой глубине давление в машинном масле составляет 8 кПа?
5. В два сосуда налили до одного уровня одинаковую жидкость (рис. 2). Сравните давления и силы давлений на дно сосудов. Сформулируйте вывод.
6. Составьте задачу, обратную задаче, рассмотренной в § 24, и решите ее.
7. Наташа живет в трехэтажном доме на последнем этаже. Удастся ли ей принять душ, если насос, установленный на полу первого этажа, подает воду под давлением 80 кПа, высота одного этажа 2,8 м, а лейка душа расположена на высоте 2 м от пола?

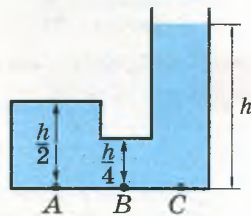


Рис. 1

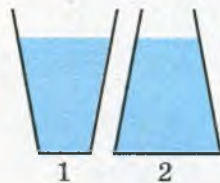


Рис. 2

8. Какова масса исследователя (см. рис. 24.1), если площадь соприкосновения подушки и доски, на которой он стоит, равна  $800 \text{ см}^2$ , а вода в трубке установилась на высоте 1 м? Что надо сделать исследователю, чтобы, не наклоняя трубку, выдавить из нее почти всю воду?
9. Предположим, что в опыте Паскаля (см. рис. 24.3) высота воды в трубке составляет 4 м, а диаметр и высота бочки равны 0,8 м. Вычислите силу, которая давит на дно бочки. Определите массу тела, которое будет давить на дно бочки с такой же силой, если площадь соприкосновения тела и дна будет равна площади дна.
10. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, выясните, на какую глубину погружаются аквалангисты и водолазы, опускаются батисферы, подводные лодки и батискафы. Определите гидростатическое давление на этих глубинах. Подготовьте сообщение.

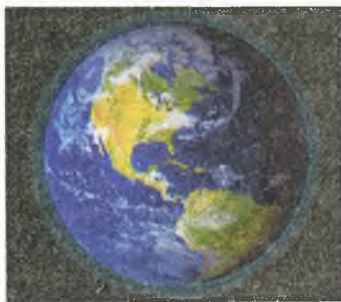
## § 25. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ. БАРОМЕТРЫ

Когда мы делаем глоток чая, то вряд ли размышляем над физикой этого процесса. При этом глотание, как и многие другие процессы, происходит благодаря давлению воздуха вокруг нас — атмосферному давлению. Откроем для себя некоторые важные свойства атмосферного давления и научимся его измерять.

### 1 Вспоминаем сведения об атмосфере

Вы хорошо знаете, что наша планета Земля окружена воздушной оболочкой, которую называют *атмосферой* (в переводе с греческого — «пар» и «сфера») (рис. 25.1). Почему же существует воздушная оболочка Земли?

Воздух состоит из молекул и атомов. Молекулы и атомы имеют массу, поэтому они притягиваются к Земле благодаря действию силы тяжести.



**Рис. 25.1.** Атмосфера начинается у поверхности Земли и простирается в космическое пространство приблизительно на 100 км

Все огромное количество молекул газов, составляющих атмосферу, находится в непрерывном хаотическом движении — они все время сталкиваются, отскакивают друг от друга, изменяют значение и направление скорости своего движения... Именно поэтому они не «падают» на Землю, а находятся в пространстве вблизи нее.

### 2 Доказываем существование атмосферного давления

По подсчетам, атмосфера Земли имеет массу около  $5 \cdot 10^{18}$  кг. Под действием силы тяжести верхние слои атмосферы давят на нижние, поэтому воздушный слой непосредственно

у поверхности Земли сжат больше и, согласно закону Паскаля, создает давление на поверхность Земли и на все тела вблизи нее. Это и есть **атмосферное давление** ( $p_{\text{атм}}$ ).

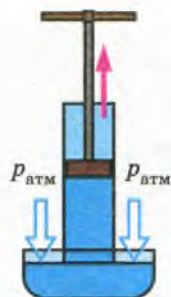
Атмосферное давление обуславливает существование всасывания — поднятия жидкости за поршнем (в насосах, шприцах и т. п.) (рис. 25.2). Если поднимать поршень, то атмосферное давление, действуя на свободную поверхность жидкости в сосуде, будет нагнетать жидкость вверх, в пустоту под поршнем. Со стороны все выглядит так, будто жидкость поднимается за поршнем сама по себе.

Кстати, долгое время поднятие жидкости за поршнем, движущимся вверх, приводилось как одно из доказательств известного принципа Аристотеля «Природа боится пустоты». Однако в середине XVII в. при строительстве фонтанов во Флоренции столкнулись с непонятным явлением: оказалось, что вода, которая всасывается насосами, не поднимается выше 10,3 м (рис. 25.3). Галилео Галилей предложил разобратся в этом своим ученикам — Эванджелисте Торричелли (1608–1647) и Винченцо Вивiani (1622–1703). Разбираясь с данной проблемой, Э. Торричелли впервые доказал существование атмосферного давления.

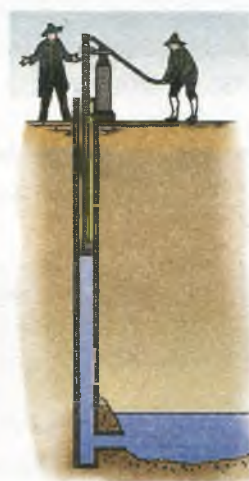
### **3** Измеряем атмосферное давление

Для удобства проведения опытов Э. Торричелли догадался заменить воду жидкостью с намного большей плотностью. Стекланную трубку длиной около метра, запаянную с одного конца, ученый доверху наполнил ртутью. Затем, плотно закрыв отверстие, он перевернул трубку, опустил ее в чашу с ртутью и открыл отверстие — часть жидкости из трубки вылилась в чашу. В трубке остался столб ртути высотой приблизительно 760 мм, а над ртутью образовалась пустота (рис. 25.4).

Проведя множество опытов, Торричелли установил: высота столба ртути, остающейся в трубке (760 мм), не зависит ни от длины трубки, ни от ее диаметра, — эта высота немного изменяется только в зависимости от погоды.



**Рис. 25.2.** Жидкость поднимается за поршнем, так как на свободную поверхность жидкости в сосуде давит атмосфера



**Рис. 25.3.** В 1638 г. не удалось украсить сады Флоренции фонтанами, потому что вода не поднималась выше 10,3 м



**Рис. 25.4.** Модель трубки Торричелли: высота  $h$  столба ртути в трубке всегда около 760 мм

Торричелли сумел также объяснить, почему высота столба ртути имеет именно такую высоту.

Однородная жидкость в трубке и чаше неподвижна. Значит, согласно закону Паскаля *давление на поверхность ртути со стороны атмосферы и гидростатическое давление столба ртути в трубке одинаковы*. То есть давление столба ртути высотой 760 мм равно атмосферному давлению.

Давление, которое создает столб ртути высотой 760 мм, называют **нормальным атмосферным давлением**:

$$p_{\text{атм.н}} = 760 \text{ мм рт. ст.}$$

В данном случае в качестве *единицы атмосферного давления* взят **один миллиметр ртутного столба** (1 мм рт. ст.).

Выразим *нормальное атмосферное давление в единицах СИ* — паскалях. Из материала § 24 вы знаете, что гидростатическое давление вычисляют по формуле:  $p = \rho gh$ .

Учитывая, что плотность ртути  $\rho_{\text{рт}} = 13\,600 \text{ кг/м}^3$ ,  $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ , а высота столба ртути  $h = 0,76 \text{ м}$ , имеем:

$$\begin{aligned} p_{\text{атм.н}} &= \rho_{\text{рт}} gh = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,76 \text{ м} = \\ &= 101\,325 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 101\,325 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

*Обратите внимание:* выражая атмосферное давление в паскалях, для расчетов следует брать  $g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

В физике и технике также используют *внесистемную единицу атмосферного давления* — **физическую атмосферу** (1 атм).

Одна физическая атмосфера равна нормальному атмосферному давлению:  $1 \text{ атм} \approx 100 \text{ кПа}$ .

#### 4 Изучаем конструкцию барометра-анероида

Если к трубке Торричелли присоединить вертикальную шкалу (линейку), то получим простейший **барометр** — прибор для измерения атмосферного давления. Действие такого барометра основано на том, что столб жидкости прекращает подниматься (опускаться) как только гидростатическое давление столба жидкости становится равным атмосферному давлению.

Барометр Торричелли — достаточно точный прибор, однако большой размер, ядовитые пары ртути и стеклянная трубка делают его неудобным для повседневного использования. Сейчас широко применяют **барометры-анероиды** — приборы для измерения атмосферного давления, работающие без помощи жидкости (рис. 25.5).

Главная часть барометра-анероида — легкая и упругая пустая металлическая коробочка 1 с гофрированной (ребристой) поверхностью. Воздух в коробочке находится при сниженном давлении. К стенке коробочки

прикреплена стрелка 2, насаженная на ось 3. Конец стрелки передвигается по шкале 4, размеченной в миллиметрах ртутного столба или паскалях. Все детали барометра размещены в корпусе, передняя часть которого закрыта стеклом.

Изменение атмосферного давления вызывает изменение силы, сжимающей стенки коробочки. Соответственно изменяется изгиб стенок коробочки. Изгиб стенок передается стрелке и вызывает ее движение.

Барометры-анероиды более удобны в использовании, чем ртутные приборы: они легкие, компактные и безопасные.

### 5 Определяем зависимость атмосферного давления от погоды и высоты

Наблюдая за барометром, можно легко прогнозировать изменение погоды. Например, перед ненастьем атмосферное давление обычно падает.

Показания барометра зависят не только от погоды, а и от высоты над уровнем моря. Чем выше место наблюдения над уровнем моря, тем меньше атмосферное давление. Вблизи поверхности Земли через каждые 11 м высоты атмосферное давление уменьшается приблизительно на 1 мм рт. ст.

Поскольку атмосферное давление зависит от высоты, барометр можно проградуировать таким образом, чтобы по давлению воздуха определять высоту. Так был изобретен **альтиметр** — прибор для измерения высоты (рис. 25.6).



### Подводим итоги

Воздух имеет массу. Из-за притяжения Земли верхние слои атмосферы (воздушной оболочки Земли) давят на нижние. Давление воздуха на поверхность Земли и на все тела вблизи нее называют атмосферным давлением.

Точное измерение атмосферного давления обеспечивает ртутный барометр (барометр Торричелли).

Давление столба ртути высотой 760 мм ( $101325 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа}$ ) — это нормальное атмосферное давление.

На практике используют барометры-анероиды благодаря их удобству, небольшим размерам и безопасности. С помощью барометров можно прогнозировать изменение погоды и определять высоту: атмосферное давление уменьшается перед ненастьем, а также с высотой.

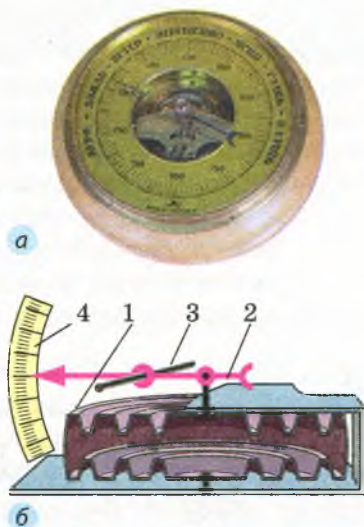


Рис. 25.5. Барометр-анероид:  
а — внешний вид;  
б — строение



Рис. 25.6. Альтиметр на руке парашютиста



### Контрольные вопросы

1. Что такое атмосфера и почему она существует?
2. Почему существует атмосферное давление?
3. Какие факты подтверждают существование атмосферного давления?
4. Опишите строение и принцип действия ртутного барометра.
5. В каких единицах измеряют атмосферное давление?
6. Дайте определение нормального атмосферного давления. Выразите нормальное атмосферное давление в паскалях.
7. Опишите конструкцию и принцип действия барометра-анероида.
8. Какие преимущества барометров-анероидов обусловили их широкое использование?
9. Почему с помощью барометров можно прогнозировать погоду и измерять высоту?



### Упражнение № 25

1. Действует ли на рыбок в аквариуме атмосферное давление? Почему?
2. Почему вода поднимается, если ее втягивать через соломинку?
3. Можно ли для расчета атмосферного давления использовать формулу  $p = \rho gh$ , где  $\rho$  — плотность воздуха,  $h$  — высота атмосферы? Обоснуйте свой ответ.
4. Выразите давление 1 мм рт. ст. в паскалях.
5. Выразите давление 550 мм рт. ст. в килопаскалях; давление 93 324 Па — в миллиметрах ртутного столба.
6. Объясните, почему с увеличением высоты над уровнем моря атмосферное давление уменьшается.
7. На какой высоте расположена обзорная площадка телевизионной башни, если атмосферное давление у подножия башни составляет 760 мм рт. ст., а на высоте площадки — 740 мм рт. ст.?
8. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и найдите сведения о роли атмосферного давления в жизни людей и животных. Подготовьте краткое сообщение.
9. Вспомните, почему жидкости и газы оказывают давление. В чем особенности этого давления?



### Экспериментальные задания

1. В дополнительных источниках информации найдите описания опытов, доказывающих существование атмосферного давления. Выполните некоторые из них, подготовьте сообщение или фотоотчет.
2. «Ловушка для руки». Наденьте на трехлитровую стеклянную банку плотную резиновую перчатку как показано на [рис. 1](#). Загерметизируйте место соединения перчатки и банки скотчем, а потом засуньте в перчатку руку ([рис. 2](#)). Теперь попробуйте вынуть руку. Что мешает это сделать? Станет ли легче вынуть руку, если перчатку проколоть? Почему?



Рис. 1

Рис. 2



**Видеоопыт.** Посмотрите видеоролик и объясните наблюдаемое явление.

## § 26. СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ. МАНОМЕТРЫ

Каждое утро мы умываемся. А знаете ли вы, почему течет вода из крана, когда мы его открываем? А почему выливается вода из носика чайника, если чайник наклонить? А как «работает» артезианский колодец? Может, кто-то из вас уже знает, что все эти устройства являются сообщающимися сосудами. Именно о сообщающихся сосудах, их свойствах и применении будет идти речь в этом параграфе.

### 1 Исследуем сообщающиеся сосуды

**Сообщающиеся сосуды** — это сосуды, которые соединены между собой так, что между ними может перетекать жидкость.

Простейшие сообщающиеся сосуды — это две соединенные между собой трубки. Если в одну из трубок наливать воду, то вода будет перетекать в другую трубку. Когда движение воды прекратится, вода в обеих трубках (обоих коленах сообщающихся сосудов) установится на одном уровне (рис. 26.1, а). Если наклонить или поднять одно из колен, то вода будет перетекать из колена, расположенного выше, пока уровни воды в обоих коленах не сравняются (рис. 26.1, б).

Итак, мы определили **основное свойство сообщающихся сосудов**:

В открытых сообщающихся сосудах свободные поверхности однородной неподвижной жидкости располагаются на одном уровне.

*Обратите внимание!* Свободные поверхности жидкости устанавливаются на одном уровне не только в двух, но и в любом количестве сообщающихся сосудов — независимо от того, какую форму они имеют и как расположены в пространстве (рис. 26.2).

А вот если в правое и левое колена сообщающихся сосудов налить жидкости, которые не смешиваются и имеют разные плотности, например керосин и воду, результат будет иным. Рассмотрим рис. 26.3. На уровне  $CD$  давление столбов жидкостей в сосудах одинаково:

$$p_C = p_D, \text{ или } \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2.$$

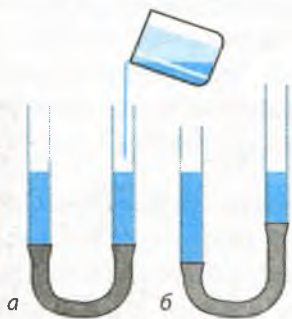


Рис. 26.1. В открытых сообщающихся сосудах однородная жидкость устанавливается на одном уровне



Рис. 26.2. Независимо от формы открытых сообщающихся сосудов уровень жидкости в них одинаковый

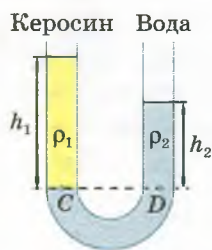
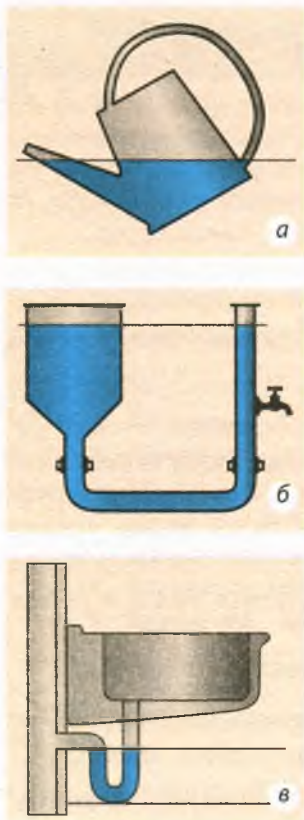


Рис. 26.3. В открытых сообщающихся сосудах жидкости меньшей плотности устанавливается на большей высоте ( $\rho_1 < \rho_2$ ,  $h_1 > h_2$ )





**Рис. 26.4.** Применение сообщающихся сосудов в быту: а — лейка; б — водопровод; в — водяной затвор в сливе мойки

После сокращения на  $g$  получаем:  $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ . Следовательно, если  $\rho_1 < \rho_2$ , то  $h_1 > h_2$ . Отсюда имеем еще одно свойство сообщающихся сосудов:

В открытых сообщающихся сосудах столб неподвижной жидкости, имеющей меньшую плотность, будет выше, чем столб неподвижной жидкости, имеющей большую плотность. Для двух открытых сообщающихся сосудов соотношение высот столбов жидкостей и плотностей этих жидкостей имеет вид:

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

Сообщающиеся сосуды широко применяют в быту, медицине, технике, строительстве. Шлюзы на каналах и реках, водопроводы, водомерные трубки на паровых котлах, артезианские колодцы, фонтаны, чайники, воронки, капельницы — все это примеры сообщающихся сосудов.

**1** Рассмотрите рис. 26.4 и попробуйте объяснить принцип действия некоторых устройств.

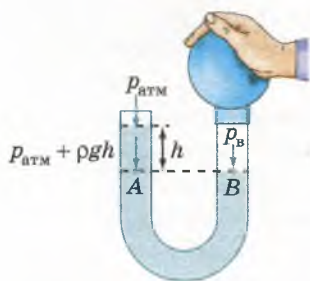
## **2** Изготавливаем открытый жидкостный манометр

На правое колено U-образной трубки, в которую налита однородная жидкость, наденем резиновую грушу. Слегка сожмем грушу — жидкость в трубке установится таким образом, что высота столба жидкости в правом колене будет меньше, чем в левом, на  $h$  (рис. 26.5).

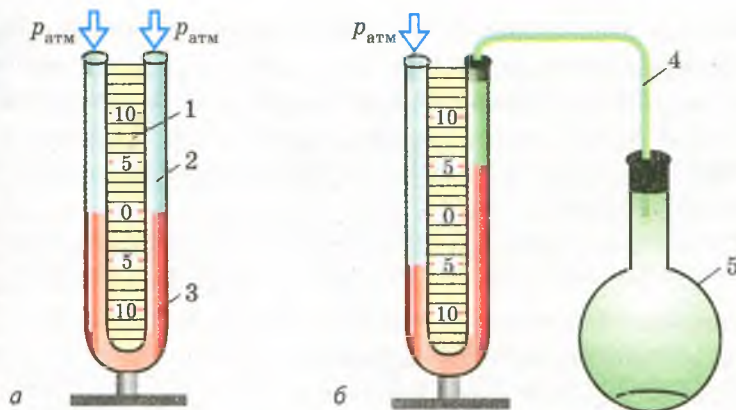
Определим давление воздуха  $p_B$  в правом колене трубки. На уровне  $AB$  давление в жидкости одинаково ( $p_A = p_B$ ). В точке  $B$  это будет давление  $p_B$  — давление воздуха в груше, в точке  $A$  — атмосферное давление  $p_{\text{атм}}$  плюс гидростатическое давление столба жидкости высотой  $h$ . Получаем:

$$p_B = p_{\text{атм}} + \rho gh.$$

Итак, с помощью U-образной трубки, заполненной однородной жидкостью (известной плотности  $\rho$ ), и линейки, позволяющей измерить разность уровней жидкости в коленах трубки ( $h$ ), можно определить, на сколько давление газа в груше отличается от атмосферного. Соответствующий прибор называют *открытый жидкостный манометр* (рис. 26.6).



**Рис. 26.5.** Разность атмосферного давления  $p_{\text{атм}}$  и давления воздуха  $p_B$  компенсируется давлением столба жидкости высотой  $h$



**Рис. 26.6.** U-образная трубка, наполненная жидкостью и имеющая шкалу, — открытый жидкостный манометр: а — строение; б — измерение давления газа в емкости (колбе 5)

**Манометр** — это прибор для измерения давления жидкостей и газов.

Открытый жидкостный манометр (рис. 26.6, а) состоит из линейки 1, к которой присоединена U-образная трубка 2. Трубка заполнена подкрашенной жидкостью 3 так, что уровень жидкости расположен на отметке 0.

При измерениях (рис. 26.6, б) одно колено трубки оставляют открытым в атмосферу, а второе с помощью шланга 4 соединяют с емкостью, в которой нужно измерить давление газа (колба 5).

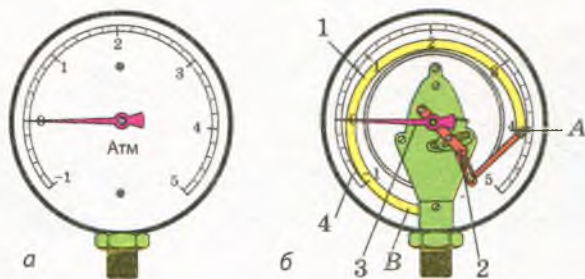
Например, на рис. 26.6, б разность уровней подкрашенной жидкости в сообщающихся сосудах составляет 10 см ( $h = 0,1$  м). Если в трубке находится подкрашенная вода, то давление газа в колбе 5 меньше атмосферного давления на 980 Па:

$$\rho_{\text{воды}} g h = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ м} = 980 \text{ Па}.$$

### **3** **Заменяем жидкостный манометр металлическим**

Жидкостный манометр не всегда удобен в использовании: необходимо доливать жидкость до нужного уровня, осуществлять дополнительные вычисления. Поэтому, как правило, используют *металлические деформационные манометры* (рис. 26.7).

Основной элемент металлического деформационного манометра — гибкая дугообразная трубка 1, один конец которой (А) запаян. Второй конец трубки (В) соединен с резервуаром, в котором нужно измерить давление. Принцип действия таких манометров следующий. Если давление



**Рис. 26.7.** Металлический деформационный манометр: а — общий вид; б — строение: трубка 1 с помощью передаточного механизма 2 соединена со стрелкой 3. Давление определяют по шкале 4

газа внутри трубки больше атмосферного, то гибкая трубка распрямляется и ее движение передается через механизм 2 к стрелке 3, движущейся вдоль шкалы 4 прибора. После уменьшения давления газа до атмосферного трубка возвращается в начальное (недеформированное) положение, а стрелка останавливается на отметке 0. Шкала металлического манометра проградуирована в атмосферах или паскалях.

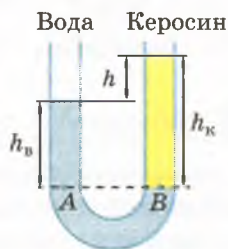
**Обратите внимание!** Металлический деформационный манометр показывает, на сколько измеренное давление больше или меньше атмосферного.

#### 4 Учимся решать задачи

**Задача.** В правое колено открытой U-образной трубки, содержащей воду, налили слой керосина высотой 12,5 см (см. рисунок). Определите разность уровней воды и керосина в коленах трубки. Керосин и вода не смешиваются.

**Анализ физической проблемы.** В однородной жидкости давление на одном горизонтальном уровне одинаково. В обоих коленах на уровне  $AB$  и ниже находится вода, значит, на уровне  $AB$  давления, создаваемые атмосферой и жидкостями, одинаковы.

Чтобы определить гидростатические давления жидкостей, нужно знать их плотности. Плотности воды и керосина узнаем из таблицы плотностей (с. 249). Задачу будем решать в единицах СИ.



**Дано:**

$$h_k = 12,5 \text{ см} = 0,125 \text{ м}$$

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

$$\rho_k = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

**Найти:**

$$h - ?$$

**Поиск математической модели, решение.** Разность высот столбов керосина и воды:  $h = h_k - h_b$ .

Определим высоту столба воды.

Найдем давление в точках  $A$  и  $B$ :

$$p_A = p_{\text{атм}} + \rho_v g h_b; \quad p_B = p_{\text{атм}} + \rho_k g h_k.$$

Поскольку  $p_A = p_B$ , то имеем:

$$p_{\text{атм}} + \rho_v g h_b = p_{\text{атм}} + \rho_k g h_k, \text{ или } \rho_v g h_b = \rho_k g h_k.$$

Отсюда найдем высоту столба воды:

$$h_b = \frac{\rho_k g h_k}{\rho_v g} = \frac{\rho_k h_k}{\rho_v}.$$

Проверим единицу, найдем значение высоты столба воды:

$$[h_b] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м}; \quad h_b = \frac{800 \cdot 0,125}{1000} = 0,1 \text{ (м)}.$$

Таким образом, разность уровней воды и керосина в правом и левом коленах трубки:  $h = 12,5 \text{ см} - 10 \text{ см} = 2,5 \text{ см}$ .

**Ответ:**  $h = 2,5 \text{ см}$ .



### Подводим итоги

Сообщающиеся сосуды — это сосуды, которые соединены между собой так, что между ними может протекать жидкость.

В открытых сообщающихся сосудах разных форм и размеров свободная поверхность однородной неподвижной жидкости располагается на одном уровне; если плотности жидкостей в сосудах различны, то столб жидкости, имеющей меньшую плотность, выше, чем столб жидкости, имеющей большую плотность.

Манометры — это приборы для измерения давления жидкостей и газов. В открытом жидкостном манометре давление газа  $p_r$  в сосуде определяется по разности  $h$  уровней жидкости в коленях прибора: если  $p_r < p_{\text{атм}}$ , то  $p_r = p_{\text{атм}} - \rho gh$ ; если  $p_r > p_{\text{атм}}$ , то  $p_r = p_{\text{атм}} + \rho gh$ , где  $p_{\text{атм}}$  — атмосферное давление.

На практике широко используют металлические деформационные манометры.



### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры сообщающихся сосудов.
2. Сформулируйте основное свойство сообщающихся сосудов.
3. Как ведут себя жидкости разной плотности, налитые в сообщающиеся сосуды?
4. Что такое манометр?
5. Как работает открытый жидкостный манометр?
6. Опишите строение и принцип действия металлического деформационного манометра.



### Упражнение № 26

1. В жидкостном манометре находится вода (рис. 1). Левое колено манометра открыто в атмосферу. Какое давление больше — атмосферное или давление в баллоне?
2. На сколько отличается давление в баллоне (см. задание 1) от атмосферного?
3. В некоторых храмах Древней Греции стояла так называемая «неисчерпаемая чаша» (рис. 2). Объясните, опираясь на рисунок, как работало это «чудо».
4. В жидкостном манометре (рис. 3) находится ртуть. Левое колено манометра открыто в атмосферу. Определите давление в баллоне, если атмосферное давление равно 100 кПа.
5. Составьте задачу, обратную задаче в § 26, и решите ее.

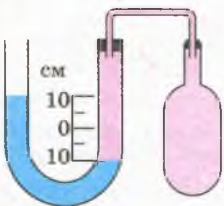


Рис. 1



Рис. 2

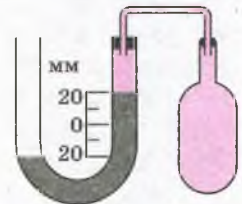


Рис. 3

6. Определите давление газа в колбе В (рис. 4), если давление газа в колбе А равно 100 гПа.
7. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте о принципе работы шлюзов. Представьте себе, что вы оператор соответствующей службы. Составьте систему команд для проведения судна через камеры шлюза (рис. 5). Разрешается использовать такие команды: открыть (закрыть) ворота (1, 2, 3, 4); спустить воду из камеры (I, II, III); запустить воду в камеру (I, II, III); перейти в камеру (I, II, III).
8. Речное судно получило в днище пробоину площадью  $200 \text{ см}^2$ . Матрос массой 80 кг перекрыл доступ воды, накрыв отверстие пластиной и встав на нее. Определите осадку судна. Массу пластины не учитывайте.

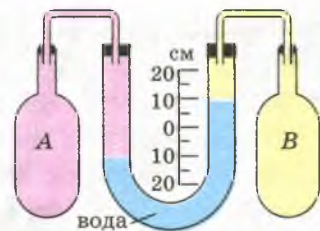


Рис. 4

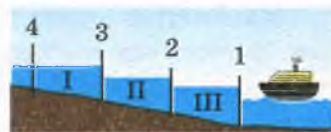
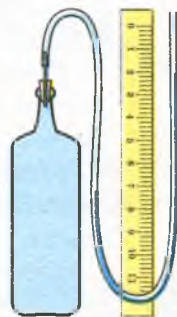


Рис. 5

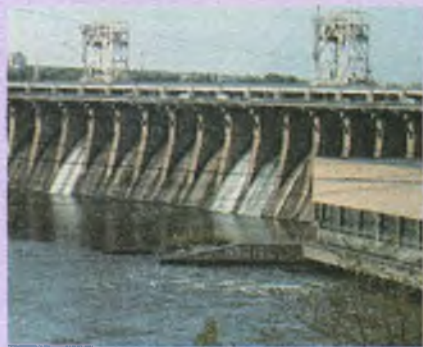


### Экспериментальное задание

«Манометр своими руками». Воспользовавшись прозрачной эластичной трубкой и линейкой, изготовьте манометр, который будет измерять разность давлений в атмосфере и бутылке (см. рисунок). Проследите изменение разности давлений в течение недели; сделайте вывод.



### Физика и техника в Украине



Каскад из шести гидроэлектростанций (ГЭС) на Днестре является важным элементом энергосистемы Украины. Возведение этих ГЭС обеспечило энергией заводы-гиганты, принесло электрический свет в тысячи домов Запорожья, Кривого Рога и других городов Украины. После того как высокие дамбы перегородили Днепр, глубина реки значительно увеличилась. Это обеспечило судоходство по всей длине Днепра. А чтобы суда могли плыть и дальше, к Черному морю, в конструкции плотин инженеры предусмотрели специальные узлы — шлюзы.

Шлюз представляет собой систему последовательно расположенных «комнат», которые называют камерами. В каждой камере с двух сторон есть «двери», но нет «крыши». Размеры камер огромны — каждая из них способна вместить одновременно несколько теплоходов. Работает шлюз следующим образом. Судно входит в первую камеру, ее внешние двери за ним закрываются, и происходит выравнивание уровня воды со второй камерой через систему сообщающихся труб (по принципу сообщающихся сосудов). Потом открываются двери между первой и второй камерами — судно переходит во вторую камеру и т. д.

## § 27. ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА В ЖИДКОСТЯХ И ГАЗАХ. ЗАКОН АРХИМЕДА

Почему мяч, если его погрузить в воду и отпустить, выпрыгивает над поверхностью воды? Почему тяжелый камень, который на суше нельзя сдвинуть с места, можно легко поднять под водой? Почему корабль, севший на мель, самостоятельно не может всплыть? Попробуем разобраться.

### **1** Доказываем существование выталкивающей силы

Подвесим к коромыслу весов два одинаковых шара. Массы шаров равны, значит, весы будут уравновешены (рис. 27.1, а). Подставим под правый шар пустой сосуд (рис. 27.1, б). Затем нальем в сосуд воду и увидим, что равновесие весов нарушится (рис. 27.1, в), — некая сила пытается вытолкнуть шар из воды.

Откуда берется эта сила? Чтобы разобраться, рассмотрим погруженный в жидкость кубик. На него со всех сторон действуют силы гидростатического давления жидкости (рис. 27.2).

Силы гидростатического давления  $\vec{F}_3$  и  $\vec{F}_4$ , действующие на боковые грани кубика, противоположны по направлению и равны по значению, так как площади боковых граней одинаковы и эти грани расположены на одинаковой глубине. Такие силы уравновешивают друг друга.

А вот силы гидростатического давления  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , соответственно действующие на верхнюю и нижнюю грани кубика, друг друга не уравновешивают.

На верхнюю грань кубика действует сила давления  $\vec{F}_1$ :

$$F_1 = p_1 S = \rho_{\text{ж}} g h_1 S,$$

где  $p_1 = \rho_{\text{ж}} g h_1$  — гидростатическое давление жидкости;  $S$  — площадь грани.

Аналогично на нижнюю грань кубика действует сила давления  $\vec{F}_2$ :

$$F_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2 S.$$

Нижняя грань находится на большей глубине, чем верхняя ( $h_2 > h_1$ ), поэтому сила давления  $F_2$  больше силы давления  $F_1$ .

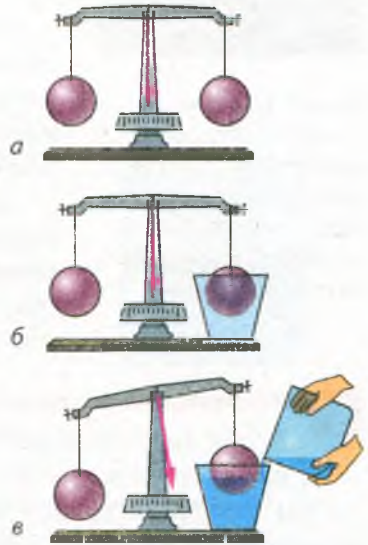


Рис. 27.1. На шар в воде действует сила, направленная вверх

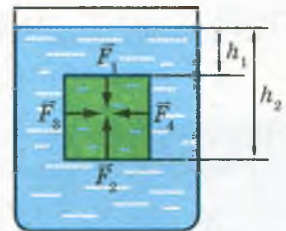


Рис. 27.2. Силы давления  $\vec{F}_3$  и  $\vec{F}_4$ , действующие на боковые грани кубика, уравновешены ( $F_3 = F_4$ ). Сила давления  $\vec{F}_2$ , действующая на нижнюю грань кубика, больше силы давления  $\vec{F}_1$ , действующей на верхнюю грань ( $F_2 > F_1$ )



**Рис. 27.3.** Архимед (ок. 287–212 гг. до н. э.), древнегреческий ученый, инженер-изобретатель; основоположник теоретической механики и гидростатики

Равнодействующая этих сил равна разности значений сил  $F_2$  и  $F_1$  и направлена в сторону действия большей силы, то есть вертикально вверх.

*По вертикали вверх на кубик, погруженный в жидкость, действует сила, обусловленная разностью давлений на его нижнюю и верхнюю грани, — выталкивающая сила:*

$$F_{\text{выт}} = F_2 - F_1.$$

На тело, помещенное в газ, тоже действует выталкивающая сила, но она значительно меньше выталкивающей силы, действующей на то же тело в жидкости, поскольку плотность газа намного меньше плотности жидкости.

Выталкивающую силу, которая действует на тело в жидкости или газе, называют также **архимедовой силой** (в честь древнегреческого ученого *Архимеда* (рис. 27.3), который первым указал на существование этой силы и вычислил ее значение).

## **2** Рассчитываем архимедову силу

Вычислим значение архимедовой (выталкивающей) силы для кубика, погруженного в жидкость (см. рис. 27.2).

Вы уже знаете, что архимедова сила равна разности сил давлений жидкости на нижнюю и верхнюю грани кубика:

$$F_{\text{арх}} = F_2 - F_1,$$

где  $F_1 = \rho_{\text{ж}} g h_1 S$  — сила давления жидкости на верхнюю грань кубика;  $F_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2 S$  — сила давления жидкости на нижнюю грань кубика.

Зная  $F_2$  и  $F_1$ , найдем выталкивающую силу:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{ж}} g h_2 S - \rho_{\text{ж}} g h_1 S = \rho_{\text{ж}} g S (h_2 - h_1).$$

Разность глубин  $h_2 - h_1$ , на которых находятся нижняя и верхняя грани кубика, — это высота  $h$  кубика, следовательно,  $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{ж}} g S h$ .

Произведение площади  $S$  основания кубика на его высоту  $h$  — это объем  $V$  кубика:  $V = S h$ , значит, формула для расчета архимедовой силы:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{ж}} g V.$$

Здесь  $\rho_{\text{ж}} V$  — это масса жидкости в объеме кубика, то есть масса жидкости, объем которой равен объему кубика. Так как  $\rho_{\text{ж}} V = m_{\text{ж}}$ , то

$$F_{\text{арх}} = m_{\text{ж}} g = P_{\text{ж}}.$$

*Архимедова сила равна весу жидкости в объеме кубика:  $F_{\text{арх}} = P_{\text{ж}}$ .*

Мы рассмотрели случай с кубиком, полностью погруженным в жидкость. Однако полученный результат выполняется для тела любой формы, а также в случаях, когда тело погружено в жидкость частично (для расчетов следует брать *объем погруженной в жидкость части тела*). Кроме того, результат справедлив и для газов.

А теперь сформулируем закон Архимеда:

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, которая равна весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{ж(газа)}} g V_{\text{погр}},$$

где  $F_{\text{арх}}$  — архимедова сила;  $\rho_{\text{ж(газа)}}$  — плотность жидкости или газа;  $V_{\text{погр}}$  — объем погруженной части тела.

Архимедова сила приложена к центру погруженной части тела и направлена вертикально вверх (рис. 27.4).

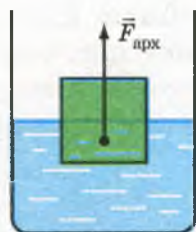
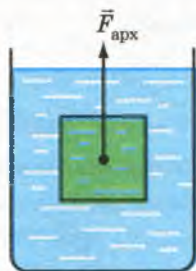


Рис. 27.4. Точка приложения и направление архимедовой силы



Рис. 27.5. Самое большое животное на нашей планете — кит; его масса может достигать 150 т, а длина — 35 м

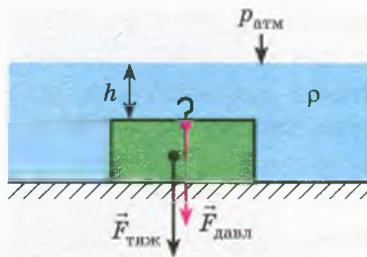
### 3 Выясняем, всегда ли на тело, погруженное в жидкость, действует архимедова сила

Подвесим к динамометру камешек на нити. Динамометр покажет вес камешка. Подставим стакан с водой так, чтобы камешек оказался полностью погруженным в воду. Показание динамометра уменьшится. Кажется, что камешек «потерял» часть своего веса. Но никакой потери веса тела в жидкости не происходит: вес перераспределяется между подвесом (нитью) и опорой (жидкостью). Даже если архимедова сила, действующая на тело, достаточна, чтобы его удержать, и подвес не будет растянут, тело все равно не находится в состоянии невесомости, ведь оно давит на опору — жидкость.

Следует отметить: когда тело плавает, его вес распределяется на воду, окружающую всю поверхность тела. Поэтому во время плавания нам кажется, что мы потеряли вес. Такие комфортные условия поддержания тяжелого тела обусловили то, что в результате эволюции самые массивные существа на Земле живут в океане (рис. 27.5).

Именно архимедова сила помогает нам поднимать в воде тяжелые камни или другие предметы, ведь часть силы тяжести, действующей на эти тела, уравновешивается не силой наших рук, а выталкивающей силой.





**Рис. 27.6.** На тело, плотно прилегающее ко дну, архимедова сила не действует. Более того, тело дополнительно прижимают ко дну слой жидкости и атмосфера:  $F_{\text{давл}} = pS$ , где  $p = p_{\text{атм}} + \rho gh$

Однако случается, что вода не помогает поднять тело, а наоборот — препятствует этому. Это происходит, если тело лежит на дне и плотно к нему прилегает. Вода не может попасть под нижнюю поверхность тела и помочь своим давлением поднять его. В таком случае, чтобы оторвать тело от дна, нужно преодолеть не только силу тяжести, действующую на тело, но и силу давления воды на верхнюю поверхность тела (рис. 27.6).

Данное явление может стать причиной трагедии: если подводная лодка опустится на глинистое дно и вытеснит из-под себя воду, всплыть сама она не сможет.

#### 4 Учимся решать задачи

**Задача.** Однородный алюминиевый брусок массой 540 г полностью погружен в воду и не касается дна и стенок сосуда. Определите архимедову силу, действующую на брусок.

*Анализ физической проблемы.* Для вычисления архимедовой силы нужно знать плотность воды и объем бруска. Объем бруска определим по его массе и плотности. Плотности воды и алюминия узнаем из таблиц плотностей (с. 249). Задачу будем решать в единицах СИ.

*Дано:*

$$m = 540 \text{ г} = 0,54 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

*Найти:*

$$F_{\text{арх}} - ?$$

*Поиск математической модели, решение.*

По закону Архимеда:  $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{в}} g V_{\text{бр}}$ .

По определению плотности:

$$\rho_{\text{ал}} = \frac{m}{V_{\text{бр}}} \Rightarrow V_{\text{бр}} = \frac{m}{\rho_{\text{ал}}}$$

Подставим выражение для объема бруска в формулу для расчетов архимедовой силы:  $F_{\text{арх}} = \frac{\rho_{\text{в}} g m}{\rho_{\text{ал}}}$ .

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[F_{\text{арх}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{Н};$$

$$F_{\text{арх}} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 0,54}{2700} = 2 \text{ (Н)}.$$

*Ответ:*  $F_{\text{арх}} = 2 \text{ Н}$ .

**Подводим итоги**



На тело, находящееся в жидкости или газе, действует выталкивающая (архимедова) сила. Причина ее появления в том, что давление, которое оказывает жидкость или газ на верхнюю поверхность тела, отличается от давления, оказываемого на нижнюю поверхность тела.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, которая направлена вертикально вверх и равна весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела:  $F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{погр}}$ .

**Контрольные вопросы**



1. Куда направлена сила, действующая со стороны жидкости или газа на тела, погруженные в них?
2. Какова причина возникновения выталкивающей силы?
3. Как еще называют выталкивающую силу?
4. Сформулируйте закон Архимеда.
5. Теряет ли вес тело, погруженное в жидкость или газ? Почему?
6. В каких случаях на тело, погруженное в жидкость, не действует выталкивающая сила? Почему?

**Упражнение № 27**



1. Сравните выталкивающие силы, которые действуют на однородные шарики в следующих случаях:
  - а) одинаковые железные шарики в сосуде с водой (рис. 1);
  - б) одинаковые железные шарики в сосудах с разной жидкостью (рис. 2);
  - в) разные по размеру железные шарики в сосуде с водой (рис. 3);
  - г) одинаковые по размеру шарики, изготовленные из разных материалов, в сосуде с водой (рис. 4).
2. Чтобы оторвать подводную лодку от глинистого дна, водолазы прокапывают под лодкой туннели. Для чего это делается?
3. Стальной шар объемом  $400 \text{ см}^3$  погружен в керосин. Определите архимедову силу, действующую на шар.
4. На шар, полностью погруженный в ртуть, действует архимедова сила  $136 \text{ Н}$ . Определите объем шара.
5. На алюминиевый брусок массой  $2,7 \text{ кг}$ , частично погруженный в воду, действует архимедова сила  $2,5 \text{ Н}$ . Какая часть бруска погружена в воду?
6. Каким будет показание динамометра, если подвешенный к нему груз массой  $1,6 \text{ кг}$  и объемом  $1000 \text{ см}^3$  погрузить в воду?
7. Если подвешенный к динамометру брусок погружают в воду, то динамометр показывает  $34 \text{ Н}$ , если в керосин —  $38 \text{ Н}$ . Определите массу и плотность бруска.

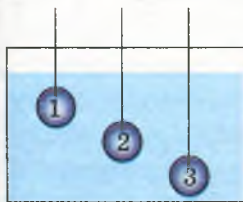


Рис. 1

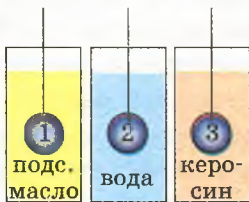


Рис. 2

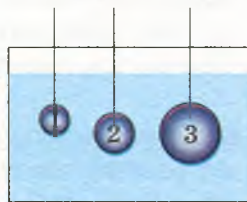


Рис. 3

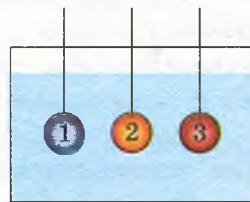


Рис. 4

8. Действует ли на искусственном спутнике Земли закон Паскаля? закон Архимеда?
9. На стальном тросе, жесткость которого  $3 \text{ МН/м}$ , равномерно поднимают со дна водоема затонувшую статую объемом  $0,5 \text{ м}^3$ . Пока статуя находилась под водой, удлинение троса было равно  $3 \text{ мм}$ . Определите массу статуи. Сопротивлением воды пренебречь.
10. Одна из легенд, существовавших еще при жизни Архимеда, рассказывает о событии, которое предшествовало открытию закона, со временем получившего название «закон Архимеда». Воспользовавшись дополнительными источниками информации, выясните, что это за легенда. Можно ли считать, что изделие изготовлено из чистого золота, если его вес в воздухе равен  $20 \text{ Н}$ , а в воде —  $18,7 \text{ Н}$ ?



### Экспериментальное задание

«Танцующие изюминки». Подготовьте оборудование: высокий прозрачный сосуд, газированную воду, несколько изюминок. Проведите следующий опыт.

1. Наполните сосуд газированной водой.
2. Бросьте изюминки в воду (см. рисунок).
3. Наблюдайте за изюминками и пузырьками на их поверхности.

Что происходит с изюминками? Как изменяются количество и размеры пузырьков? Какие силы действуют на изюминки? Почему изюминки движутся?



## § 28. УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ

При приготовлении раствора соли определенной плотности хозяйки погружают в него сырое яйцо: если плотность раствора недостаточна, яйцо тонет, если достаточна — всплывает. Аналогично определяют плотность сахарного сиропа при консервации. Из материала данного параграфа вы узнаете, когда тело плавает в жидкости или газе, когда всплывает и когда тонет.



### Обосновываем условия плавания тел

Вы наверняка можете привести множество примеров плавания тел. Плавают корабли и лодки, деревянные игрушки и воздушные шарики, плавают рыбы, дельфины, другие существа. А от чего зависит способность тела плавать?

Проведем опыт. Возьмем небольшой сосуд с водой и несколько шариков, изготовленных из разных материалов. Будем поочередно погружать тела в воду, а потом отпускать их без начальной скорости. Далее в зависимости от плотности тела возможны разные варианты (см. таблицу).

Погружение	Плавание внутри жидкости	Всплытие	Плавание на поверхности жидкости
			
$F_{\text{тяж}} > F_{\text{арх}}$	$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}}$	$F_{\text{тяж}} < F_{\text{арх}}$	$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}}$
$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$	$\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$	$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$	
			
Камень тонет в воде	Рыба плавает в воде на некоторой глубине	Подводная лодка поднимается с большой глубины	Лебедь плавает на поверхности воды

**Вариант 1. Погружение.** Тело начинает тонуть и в конце концов опускается на дно сосуда. Выясним, почему это происходит. На тело действуют две силы:

1) сила тяжести  $F_{\text{тяж}} = m_{\text{т}}g = \rho_{\text{т}}V_{\text{т}}g$  (поскольку  $m_{\text{т}} = \rho_{\text{т}}V_{\text{т}}$ ), направленная вертикально вниз;

2) выталкивающая сила  $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{ж}}gV_{\text{т}}$ , направленная вертикально вверх.

Тело погружается, а это значит, что сила, направленная вниз, больше:

$$F_{\text{тяж}} > F_{\text{арх}}.$$

Поскольку  $F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{т}}V_{\text{т}}g$ , а  $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{ж}}gV_{\text{т}}$ , то  $\rho_{\text{т}}V_{\text{т}}g > \rho_{\text{ж}}gV_{\text{т}}$ . После сокращения на  $gV_{\text{т}}$  имеем:

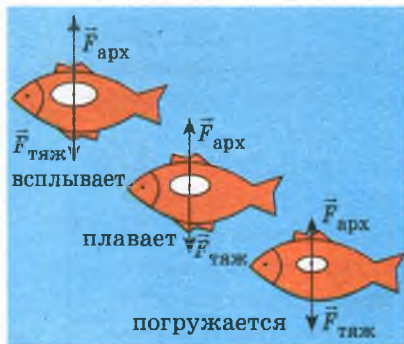
$$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$$

Тело тонет в жидкости или газе, если плотность тела больше, чем плотность жидкости или газа.

**Вариант 2. Плавание внутри жидкости.** Тело не тонет и не всплывает, а остается плавать внутри жидкости.

Попробуйте доказать, что в данном случае плотность тела равна плотности жидкости:

$$\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$$



**Рис. 28.1.** Изменяя объем плавательного пузыря, рыба может погружаться, всплывать, плавать в толще жидкости



**Рис. 28.2.** Моллюск наutilus плавает благодаря способности изменять объем внутренних полостей в своем организме



**Рис. 28.3.** Воздушная оболочка на брюшке позволяет водяному пауку подниматься с глубины на поверхность

Тело плавает внутри жидкости или газа, если плотность тела равна плотности жидкости или газа.

**Вариант 3. Всплытие.** Тело начинает всплывать и в конце концов останавливается на поверхности жидкости, погрузившись в жидкость частично.

Пока тело всплывает, архимедова сила больше силы тяжести:

$$F_{\text{тяж}} < F_{\text{арх}} \Rightarrow \rho_{\text{т}} g V_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}} g V_{\text{т}}, \text{ или:}$$

$$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$$

Остановка тела на поверхности жидкости означает, что архимедова сила и сила тяжести уравновешены:  $F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}}$ .

Тело всплывает в жидкости или газе либо плавает на поверхности жидкости, если плотность тела меньше, чем плотность жидкости или газа.

## **2** Наблюдаем плавание тел в живой природе

Тела обитателей морей и рек содержат в своем составе много воды, поэтому их средняя плотность близка к плотности воды. Чтобы свободно двигаться в жидкости, они должны «управлять» средней плотностью своего тела. Приведем примеры.

У рыб с плавательным пузырем такое управление происходит за счет изменения объема пузыря (рис. 28.1).

Моллюск наutilus (рис. 28.2), обитающий в тропических морях, может быстро всплывать и снова опускаться на дно благодаря тому, что может менять объем внутренних полостей в организме (моллюск живет в закрученной спиралью раковине).

Распространенный в Европе водяной паук (рис. 28.3) несет с собой в глубину воздушную оболочку на брюшке — именно она дает ему запас плавучести и помогает вернуться на поверхность.

### 3 Учимся решать задачи

**Задача.** Медный шар массой 445 г имеет внутри полость объемом 450 см<sup>3</sup>. Будет ли этот шар плавать в воде?

*Анализ физической проблемы.* Чтобы ответить на вопрос, как поведет себя шар в воде, нужно плотность шара ( $\rho_{\text{шара}}$ ) сравнить с плотностью воды ( $\rho_{\text{воды}}$ ).

Для вычисления плотности шара следует определить его объем и массу. Масса воздуха в шаре незначительна по сравнению с массой меди, поэтому  $m_{\text{шара}} = m_{\text{меди}}$ . Объем шара — это объем медной оболочки  $V_{\text{меди}}$  и объем полости  $V_{\text{пол}}$ . Объем медной оболочки можно определить, зная массу и плотность меди.

О плотностях меди и воды узнаем из таблиц плотностей (с. 249).

Задачу целесообразно решать в представленных единицах.

**Дано:**

$$m_{\text{меди}} = m_{\text{шара}} = 445 \text{ г}$$

$$V_{\text{пол}} = 450 \text{ см}^3$$

$$\rho_{\text{меди}} = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{воды}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

**Найти:**

$$\rho_{\text{шара}} \text{ — ?}$$

*Поиск математической модели, решение.* По определению плотности:  $\rho_{\text{шара}} = \frac{m_{\text{шара}}}{V_{\text{шара}}}$ .

Объем шара:  $V_{\text{шара}} = V_{\text{меди}} + V_{\text{пол}}$ , где  $V_{\text{меди}} = \frac{m_{\text{меди}}}{\rho_{\text{меди}}}$  — объем медной оболочки.

Таким образом,  $V_{\text{шара}} = \frac{m_{\text{меди}}}{\rho_{\text{меди}}} + V_{\text{пол}}$ .

Решим задачу по действиям.

1. Определим объем шара:

$$V_{\text{шара}} = \frac{445 \text{ г}}{8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} + 450 \text{ см}^3 = 50 \text{ см}^3 + 450 \text{ см}^3 = 500 \text{ см}^3.$$

2. Зная объем и массу шара, определим его плотность:

$$\rho_{\text{шара}} = \frac{445 \text{ г}}{500 \text{ см}^3} = 0,89 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

*Анализ результата:* плотность шара меньше плотности воды, поэтому шар будет плавать на поверхности воды.

**Ответ:** да, шар будет плавать на поверхности воды.



### Подводим итоги

Тело тонет в жидкости или газе, если плотность тела больше, чем плотность жидкости или газа ( $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$ ). Тело плавает внутри жидкости или газа, если плотность тела равна плотности жидкости или газа ( $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$ ). Тело всплывает в жидкости или газе либо плавает на поверхности жидкости, если плотность тела меньше плотности жидкости или газа ( $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$ ).



### Контрольные вопросы

1. При каком условии тело будет тонуть в жидкости или газе? Приведите примеры.
2. Какое условие нужно выполнить, чтобы тело плавало внутри жидкости или газа? Приведите примеры.
3. Сформулируйте условие, при котором тело, находящееся в жидкости или газе, всплывает. Приведите примеры.
4. При каком условии тело будет плавать на поверхности жидкости?
5. Для чего и как обитатели морей и рек изменяют свою плотность?



### Упражнение № 28

1. Будет ли однородный свинцовый брусок плавать в ртути? в воде? в подсолнечном масле?
2. Расположите шарики, изображенные на рис. 1, в порядке увеличения плотности.
3. Будет ли брусок массой 120 г и объемом 150 см<sup>3</sup> плавать в воде?
4. По рис. 2 объясните, как подводная лодка осуществляет погружение и всплытие.
5. Тело плавает в керосине, полностью в него погрузившись. Определите массу тела, если его объем равен 250 см<sup>3</sup>.
6. В сосуд налили три жидкости, которые не смешиваются, — ртуть, воду, керосин (рис. 3). Затем в сосуд опустили три шарика: стальной, пенопластовый и дубовый. Как расположились слои жидкостей в сосуде? Определите, где какой шарик. Ответы поясните.
7. Определите объем погруженной в воду части машины-амфибии, если на машину действует архимедова сила 140 кН. Какова масса машины-амфибии?
8. Составьте задачу, обратную задаче, рассмотренной в § 28, и решите ее.
9. Установите соответствие между плотностью тела, плавающего в воде, и частью этого тела, находящейся над поверхностью воды.

А $\rho_T = 400 \text{ кг/м}^3$	1 0
Б $\rho_T = 600 \text{ кг/м}^3$	2 0,1
В $\rho_T = 900 \text{ кг/м}^3$	3 0,4
Г $\rho_T = 1000 \text{ кг/м}^3$	4 0,6
	5 0,9

10. Прибор для измерения плотности жидкостей называется *ареометром*. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, узнайте о строении ареометра и принципе его действия. Напишите инструкцию, как пользоваться ареометром.

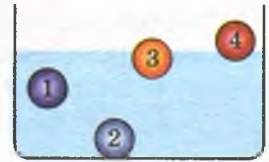


Рис. 1

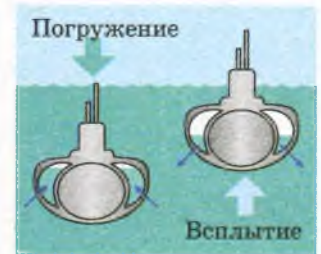


Рис. 2



Рис. 3



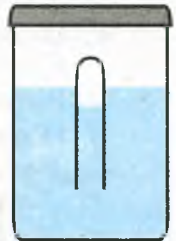
11. Заполните таблицу. Считайте, что в каждом случае тело полностью погружено в жидкость.

Физические величины					Формулы для расчета искомых величин
Масса тела	Объем тела	Плотность тела	Плотность жидкости	Архимедова сила	
20 кг	0,008 м <sup>3</sup>		1000 кг/м <sup>3</sup>		
		4000 кг/м <sup>3</sup>	900 кг/м <sup>3</sup>	180 Н	
100 г		0,4 г/см <sup>3</sup>		2 Н	



### Экспериментальное задание

«Картезианский водолаз». Сделайте физическую игрушку, идею которой придумал французский ученый *Рене Декарт*. В пластиковую банку, плотно закрывающуюся крышкой, налейте воду и поместите в нее отверстием вниз небольшую мензурку (или маленький пузырек из-под лекарства), частично заполненную водой (см. рисунок). Воды в мензурке должно быть столько, чтобы мензурка чуть выступала над поверхностью воды в банке. Плотно закройте банку и сожмите ее боковые стенки. Проследите за поведением мензурки. Объясните действие данного устройства.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

**Тема.** Определение условий плавания тел.

**Цель:** опытным путем определить, при каком условии: тело плавает на поверхности жидкости; тело плавает внутри жидкости; тело тонет в жидкости.

**Оборудование:** пробирка (или небольшой пузырек из-под лекарства) с пробкой; нить (или проволока) длиной 20–25 см; емкость с сухим песком; измерительный цилиндр, до половины наполненный водой; весы с разновесами; бумажные салфетки.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### II Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы.
  - Какие силы действуют на тело, погруженное в жидкость?
  - По какой формуле находят силу тяжести?
  - По какой формуле находят архимедову силу?
  - По какой формуле находят среднюю плотность тела?
- Определите цену деления шкалы измерительного цилиндра.



3. Закрепите пробирку на нити так, чтобы, держа за нить, можно было погрузить пробирку в измерительный цилиндр, а затем вынуть ее.
4. Вспомните правила работы с весами и подготовьте весы к работе.

### Эксперимент

*Строго соблюдайте инструкцию по безопасности (см. форзац).*

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

**Опыт 1.** Определение условия, при котором тело тонет в жидкости.

- 1) Измерьте объем воды  $V_1$  в измерительном цилиндре.
- 2) Заполните пробирку песком. Закройте пробку.
- 3) Опустите пробирку в измерительный цилиндр. В результате пробирка должна оказаться на дне цилиндра.
- 4) Измерьте объем  $V_2$  воды и пробирки; определите объем пробирки:  $V_{\text{п}} = V_2 - V_1$ .
- 5) Вытащите пробирку, протрите ее салфеткой.
- 6) Положите пробирку на весы и измерьте ее массу с точностью до 0,5 г.

**Опыт 2.** Определение условия, при котором тело плавает внутри жидкости.

- 1) Отсыпая песок из пробирки, добейтесь, чтобы пробирка свободно плавала внутри жидкости.
- 2) Повторите действия, описанные в пунктах 5–6 опыта 1.

**Опыт 3.** Определение условия, при котором тело всплывает и плавает на поверхности жидкости.

- 1) Отсыпьте из пробирки еще некоторое количество песка. Убедитесь, что после полного погружения в жидкость пробирка всплывает на поверхность жидкости.
- 2) Повторите действия, описанные в пунктах 5–6 опыта 1.

Номер опыта	Объем			Масса пробирки с песком $m$ , г	Плотность			Какое явление наблюдается
	жидкости $V_1$ , см <sup>3</sup>	жидкости и пробирки $V_2$ , см <sup>3</sup>	пробирки $V_{\text{п}} = V_2 - V_1$ , см <sup>3</sup>		средняя пробирки с песком $\rho_{\text{п}}$ , $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	жидкости $\rho_{\text{ж}}$ , $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Сравнение $\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ ( $=$ , $<$ , $>$ )	
1							$\rho_{\text{п}}$ $\rho_{\text{ж}}$	Тело тонет
2							$\rho_{\text{п}}$ $\rho_{\text{ж}}$	Тело плавает внутри жидкости
3							$\rho_{\text{п}}$ $\rho_{\text{ж}}$	Тело всплывает

### ► **Обработка результатов эксперимента**

1. Для каждого опыта:

- 1) выполните схематический рисунок, на котором изобразите силы, действующие на пробирку;
- 2) вычислите среднюю плотность пробирки с песком.

2. Занесите в таблицу результаты вычислений; завершите ее заполнение.

### □ **Анализ эксперимента и его результатов**

Проанализировав результаты, сделайте вывод, в котором укажите, при каком условии: 1) тело тонет в жидкости; 2) тело плавает внутри жидкости; 3) тело плавает на поверхности жидкости.

### + **Творческое задание**

Предложите два способа определения средней плотности яйца. Запишите план проведения каждого опыта.

## § 29. СУДОХОДСТВО И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

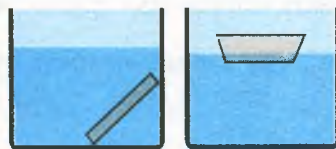
Стальной брусок в воде тонет, а стальные корабли плавают. Нейлоновая ткань падает в воздухе, а воздушные шары, изготовленные из этой ткани, поднимаются вверх сами и поднимают гондолы с пассажирами. Почему же стальные корабли плавают в воде, а воздушные шары называют аппаратами, которые легче воздуха? Получить ответы на эти вопросы вам помогут знания об основах судходства и воздухоплавания.



### 1 **Выясняем, почему плавают суда**

На первый взгляд, сталь непригодна для изготовления плавучего средства: плотность стали намного больше плотности воды, поэтому стальная пластинка в воде тонет. Но если из пластинки сделать кораблик и опустить его на поверхность воды, кораблик будет плавать (рис. 29.1). Почему?

Дело в том, что погруженная в воду часть кораблика вытесняет воды достаточно, чтобы архимедова сила уравновесила силу тяжести, действующую на кораблик. Другими словами, средняя плотность кораблика за счет воздуха внутри него намного меньше плотности воды. Именно поэтому кораблик плавает на поверхности воды лишь немного в нее погружаясь.



**Рис. 29.1.** Стальная пластинка тонет, а изготовленный из нее кораблик плавает

Этот принцип лежит в основе конструкции всех судов. *Средняя плотность судов намного меньше плотности воды, поэтому суда плавают на ее поверхности, погружаясь на относительно небольшую часть своего объема.*

## 2 Выясняем характеристики судов



**Рис. 29.2.** Корпуса судов красят в два цвета. Обычно корпус окрашен так, что выше ватерлинии он черный или белый, а ниже — соответственно красный или черный

Когда новое судно спускают на воду, оно начинает погружаться. Нижняя часть судна начинает вытеснять воду, вследствие чего возникает архимедова сила. Когда архимедова сила уравнивает силу тяжести, действующую на судно, оно прекращает погружение.

Глубину, на которую погружается судно, называют *осадкой*. *Осадка судна изменяется в зависимости от загруженности судна и от того, в речной или морской воде оно находится.* Разумеется, *судно нельзя перегружать.*

На корпус судна нанесена *ватерлиния* — линия, указывающая максимально допустимую осадку судна, при которой оно может безопасно плавать (рис. 29.2). Когда судно полностью нагружено, оно находится в воде вровень с ватерлинией.

Вес воды, которую вытесняет судно, погруженное в воду до ватерлинии, то есть архимедова сила, действующая на полностью нагруженное судно, называется **полным водоизмещением судна**.

Напомним: поскольку нагруженное судно плавает на поверхности воды, то архимедова сила, которая действует на него, по значению равна силе тяжести, действующей на судно с грузом:

$$F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}} = (m_{\text{судна}} + m_{\text{груза}})g.$$

Самые большие суда — танкеры для нефти — имеют полное водоизмещение до 5 млн кН, то есть их масса вместе с грузом достигает 500 000 т. Если из полного водоизмещения исключить вес самого судна, то получим *максимальный вес груза, который может взять на борт данное судно*, то есть определим *грузоподъемность судна*.

**Грузоподъемность судна** — максимальный вес груза, который судно может взять на борт, — это разность между полным водоизмещением судна и его весом.

Украина — морское государство. В стране есть морской и речной флот, а также порты, имеющие большое экономическое значение: Одесский, Ильичевский, Южный, Николаевский, Херсонский, Бердянский, Мариупольский.

### 3 Узнаем, как осуществилась мечта человека летать

Люди уже давно используют воздушные шары (аэростаты), поднимающиеся в воздух благодаря заполнению их оболочки горячим воздухом или легким газом.

На воздушный шар в воздухе действует выталкивающая сила. *Средняя плотность воздушного шара меньше плотности воздуха, поэтому выталкивающая сила больше силы тяжести и шар поднимается вверх.*

Разность между выталкивающей (архимедовой) силой и силой тяжести представляет собой **подъемную силу** воздушного шара.

Сейчас воздушные шары используют для метеорологических и других исследований, соревнований, перевозок пассажиров, туристических и познавательных путешествий.

Воздушные шары, наполненные легким газом (в основном гелием), называют *шарльерами*. В последнее время распространены воздушные шары, наполненные горячим воздухом, — современные *монгольфьеры* (рис. 29.3). Высокую температуру воздуха внутри шара поддерживают газовые горелки, установленные в его горловине.

Поскольку плотность воздуха с высотой уменьшается, воздушные шары не могут подняться на какую угодно высоту.

*Воздушные шары поднимаются только до той высоты, где плотность воздуха равна средней плотности шара вместе с грузом.*



**Рис. 29.3.** Воздушные шары, поднимающиеся в воздух благодаря заполнению оболочки горячим воздухом, и сейчас называют монгольфьерами (в честь братьев Монгольфье из Франции, которые в XVIII в. изобрели такие воздушные шары)

### 4 Учимся решать задачи

**Задача 1.** В речном порту судно взяло на борт 100 т груза. В результате осадка судна увеличилась на 0,2 м и достигла максимальной допустимой. Какова площадь сечения судна на уровне ватерлинии?

*Анализ физической проблемы.* Когда на судно взяли груз, оно увеличило осадку и дополнительно вытеснило некоторый объем воды. По закону Архимеда, вес груза равен весу дополнительно вытесненной воды:

$$P_{\text{груза}} = P_{\text{выт. воды}}$$

Осадка судна увеличилась всего на 20 см, значит, площадь сечения судна на уровне поверхности воды изменилась незначительно. Поэтому объем дополнительно вытесненной воды равен  $V_{\text{выт., воды}} = hS$ , где  $h$  — увеличение осадки;  $S$  — площадь сечения судна на уровне ватерлинии (по условию судно достигло максимальной осадки).

Порт речной, поэтому плотность воды равна  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Задачу следует решать в единицах СИ.

Дано:

$$m_{\text{груза}} = 100 \text{ т} = 100\,000 \text{ кг}$$

$$h = 0,2 \text{ м}$$

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

Найти:  
 $S - ?$

Поиск математической модели, решение.

1. Определим массу дополнительно вытесненной воды.

По закону Архимеда:  $P_{\text{груза}} = P_{\text{выт. воды}}$ .

$P_{\text{груза}} = m_{\text{груза}}g$ , а  $P_{\text{выт. воды}} = m_{\text{выт. воды}}g$ , ПОЭТОМУ

$$m_{\text{выт. воды}} = m_{\text{груза}} = 100\,000 \text{ кг.}$$

2. Определим объем дополнительно вытесненной воды:

$$V_{\text{выт. воды}} = \frac{m_{\text{выт. воды}}}{\rho_{\text{воды}}} = \frac{100\,000 \text{ кг}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 100 \text{ м}^3.$$

3. Площадь  $S$  сечения судна на уровне ватерлинии найдем через объем вытесненной воды:

$$V_{\text{выт. воды}} = hS \Rightarrow S = \frac{V_{\text{выт. воды}}}{h} = \frac{100 \text{ м}^3}{0,2 \text{ м}} = 500 \text{ м}^2.$$

Ответ:  $S = 500 \text{ м}^2$ .

Мы решили задачу 1 по действиям. Решите эту задачу в общем виде (получите общую формулу, найдите значение искомой величины).

**Задача 2.** Объем воздушного шара равен  $400 \text{ м}^3$ . Шар натягивает трос, которым прикреплен к причалу, с силой  $800 \text{ Н}$ . После освобождения троса шар смог подняться на некоторую высоту. Какова плотность воздуха на этой высоте, если плотность воздуха у причала  $1,3 \text{ кг/м}^3$ ?

*Анализ физической проблемы.* Шар прекратил подъем потому, что на этой высоте его средняя плотность равна плотности воздуха ( $\rho_{\text{возд}}$ ). Чтобы определить среднюю плотность шара, следует найти его массу. Массу шара найдем по силе тяжести, действующей на шар.

Для определения силы тяжести выполним пояснительный рисунок и покажем все силы, действовавшие на шар на причале:  $\vec{F}_{\text{тяж}}$  — сила тяжести;  $\vec{F}_{\text{арх}}$  — архимедова сила,  $\vec{F}_{\text{нат}}$  — сила натяжения троса. Шар на причале не двигался, поэтому силы, действовавшие на него, были скомпенсированы.

Задачу будем решать по действиям в единицах СИ.



Дано:

$$V_{\text{ш}} = 400 \text{ м}^3$$

$$F_{\text{нат}} = 800 \text{ Н}$$

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

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Найти:  
 $\rho_{\text{возд}} - ?$

Поиск математической модели, решение.

Силы, действовавшие на прикрепленный к причалу шар, были скомпенсированы, следовательно:

$$F_{\text{тяж}} + F_{\text{нат}} = F_{\text{арх}} \Rightarrow F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}}.$$

1. Найдем архимедову силу, которая действовала на прикрепленный к причалу шар:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{возд}}gV_{\text{ш}}; F_{\text{арх}} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 400 \text{ м}^3 = 5200 \text{ Н.}$$

2. Найдем силу тяжести, действующую на шар:

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}}; F_{\text{тяж}} = 5200 \text{ Н} - 800 \text{ Н} = 4400 \text{ Н.}$$

3. Определим массу шара:  $F_{\text{тяж}} = mg \Rightarrow m = \frac{F_{\text{тяж}}}{g}$ ;  $m = \frac{4400 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 440 \text{ кг}$ .

4. По известным массе и объему шара вычислим его среднюю плотность:

$$\rho_{\text{ш}} = \frac{m}{V_{\text{ш}}}; \quad \rho_{\text{ш}} = \frac{440 \text{ кг}}{400 \text{ м}^3} = 1,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

5. Плотность воздуха на высоте максимального подъема шара равна средней плотности шара, потому на этой высоте  $\rho_{\text{возд}} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ .

Ответ:  $\rho_{\text{возд}} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ .



### Контрольные вопросы

**1.** Почему металлическое судно плавает на поверхности воды? **2.** Что такое осадка судна? **3.** Как максимально допустимую осадку обозначают на корпусе судна? **4.** Дайте определение полного водоизмещения судна и определение грузоподъемности судна. **5.** Как найти подъемную силу воздушного шара? **6.** Чем ограничена максимальная высота подъема воздушного шара?



### Упражнение № 29

- В пресной воде судно вытесняет воду объемом  $15\,000 \text{ м}^3$ . Определите: а) полное водоизмещение судна; б) вес груза, если вес судна без груза равен  $5\,000\,000 \text{ Н}$ .
- Груз какой наибольшей массы можно перевезти на плоту, если масса плота  $100 \text{ кг}$ , а его объем равен  $1 \text{ м}^3$ ?
- Воздушный шарик массой  $100 \text{ г}$  натягивает нить, на которой удерживается, с силой  $1 \text{ Н}$ . Определите: а) силу тяжести, действующую на шарик; б) архимедову силу, действующую на шарик.
- Изменится ли выталкивающая сила, действующая на судно, если оно перейдет из реки в море? Изменится ли осадка судна?
- В реке судно вытесняет воду объемом  $20\,000 \text{ м}^3$ . На сколько изменится объем воды, вытесняемой судном, если оно перейдет из реки в море?
- Плотность воздуха вблизи поверхности Земли равна  $1,29 \text{ кг/м}^3$ . Какой должна быть плотность теплого воздуха внутри воздушного шара, чтобы шар начал подниматься? Объем шара равен  $500 \text{ м}^3$ , масса оболочки и груза —  $150 \text{ кг}$ .
- Подготовьте доклад или презентацию на одну из тем: «История воздухоплавания», «История судоходства».



### Экспериментальное задание

«Кораблик». Изготовьте из пластилина кораблик и запустите его в плавание (см. рисунок). С помощью металлических монет (см. экспериментальное задание в § 15) определите грузоподъемность и водоизмещение вашего кораблика.



## Задания для самопроверки к разделу 3 «Взаимодействие тел. Сила». Часть II. Давление. Закон Архимеда. Плавание тел

*В заданиях 1–7 выберите один правильный ответ.*

1. (1 балл) Давление тела на опору тем больше, чем:
  - а) больше вес тела и больше площадь опоры;
  - б) больше вес тела и меньше площадь опоры;
  - в) меньше вес тела и меньше площадь опоры;
  - г) меньше вес тела и больше площадь опоры.
2. (1 балл) С помощью ручного насоса мальчик накачал шины велосипеда. Давление воздуха в шинах увеличилось в результате:
  - а) увеличения объема шин;
  - б) увеличения массы воздуха в шинах;
  - в) уменьшения плотности воздуха в шинах;
  - г) уменьшения скорости движения молекул воздуха внутри шин.
3. (1 балл) Давление жидкости в сосуде:
  - а) одинаково во всех точках;
  - б) возрастает с увеличением глубины;
  - в) уменьшается с увеличением глубины;
  - г) возрастает с уменьшением плотности жидкости.
4. (1 балл) Замена колес на гусеницы позволяет значительно повысить проходимость трактора. Это достигается в результате:
  - а) увеличения мощности двигателя;
  - б) увеличения массы трактора;
  - в) уменьшения давления трактора на грунт;
  - г) увеличения скорости движения трактора.
5. (1 балл) Для измерения атмосферного давления используют:
  - а) ареометр;
  - б) динамометр;
  - в) барометр;
  - г) манометр.
6. (1 балл) На горизонтальной поверхности стола расположены три однородных кубика одинакового размера: медный, алюминиевый и чугунный. Какой кубик создает на стол наибольшее давление?
  - а) медный;
  - б) алюминиевый;
  - в) чугунный;
  - г) давление всех кубиков одинаково.
7. (2 балла) Какова высота слоя керосина в бидоне, если гидростатическое давление на дно бидона равно 800 Па?
  - а) 1 мм;
  - б) 1 см;
  - в) 1 дм;
  - г) 1 м.
8. (2 балла) Какое давление создает острое гвоздя на доску, если площадь острия гвоздя 0,6 мм<sup>2</sup>, а сила, с которой оно действует на доску, равна 30 Н?
9. (2 балла) Установите соответствие между выражением для расчетов физической величины и названием этой величины.

А  $m_{\text{тела}}/V_{\text{тела}}$

Б  $\rho_{\text{ж}}gh$

В  $\rho_{\text{тела}}gV_{\text{тела}}$

Г  $\rho_{\text{ж}}gV_{\text{погр}}$

1 архимедова сила

2 сила тяжести

3 гидростатическое давление

4 давление твердого тела

5 плотность тела



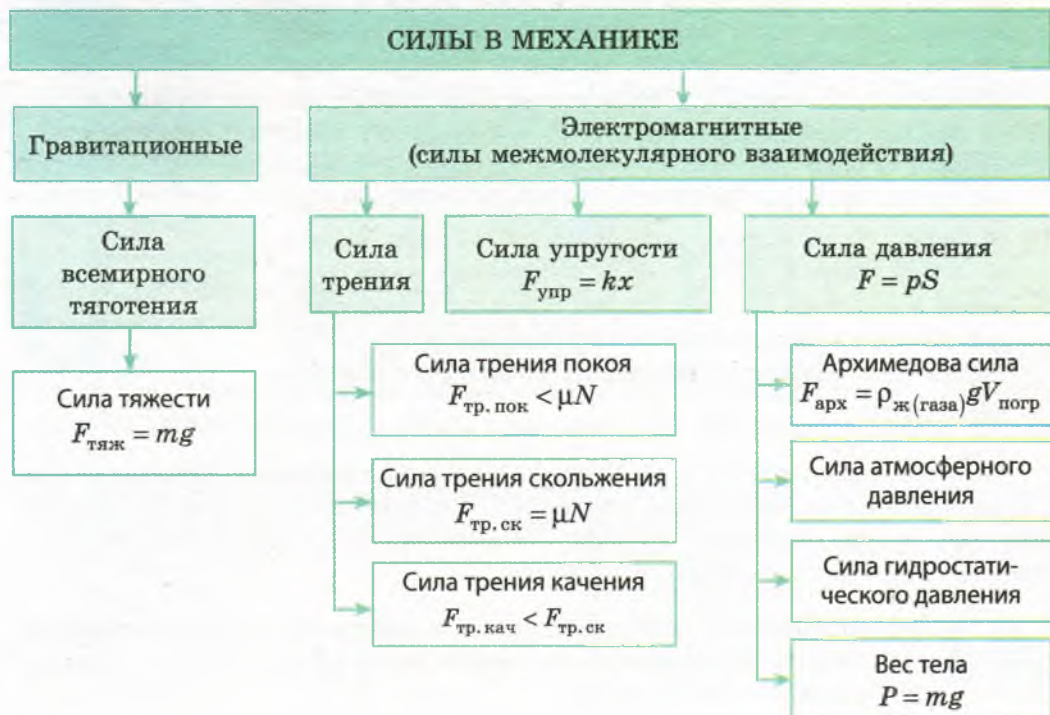


## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 3 «Взаимодействие тел. Сила»

1. Изучая раздел 3, вы узнали, что *причиной изменения скорости движения тел и причиной изменения формы и объема тел является взаимодействие.*



2. Вы ознакомились с *разными силами в механике.*

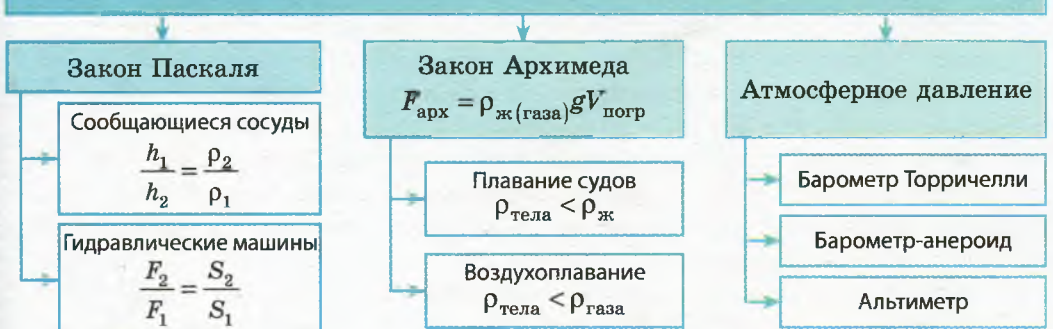


3. Вы продолжили знакомство с физическими телами и веществами и узнали о *физических величинах, характеризующих тело, вещество, взаимодействие.*

Физическая величина						
Название	Что характеризует	Символ	Единица в СИ	Формула	Способы измерения	Особенности
Масса	Тело (мера инертности тела)	$m$ (эм)	кг (килограмм)	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$	Взвешивание. По изменению скорости движения тел вследствие их взаимодействия	Также является мерой гравитации и мерой энергии тела
Плотность	Вещество	$\rho$ (ро)	кг/м <sup>3</sup> (килограмм на метр кубический)	$\rho = \frac{m}{V}$	По массе и объему. Ареометр (плотность жидкостей)	Зависит от температуры и агрегатного состояния вещества
Сила	Взаимодействие	$\vec{F}$ (эф)	Н (ньютон)	Зависит от того, какая это сила	Динамометр. По определенным формулам	Нужно указывать: значение; направление; точку приложения
Давление	Результат действия силы	$p$ (пэ)	Па (паскаль)	$p = \frac{F}{S}$	По силе и площади. Манометр (давление газов и жидкостей). Барометр (атмосферное давление)	Гидростатическое давление зависит только от высоты столба жидкости: $p = \rho gh$

4. Вы узнали о *давлении жидкостей и газов, ознакомились с законом Паскаля, законом Архимеда, доказали наличие атмосферного давления.*

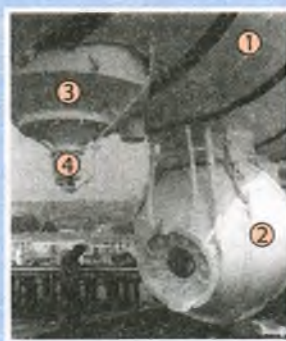
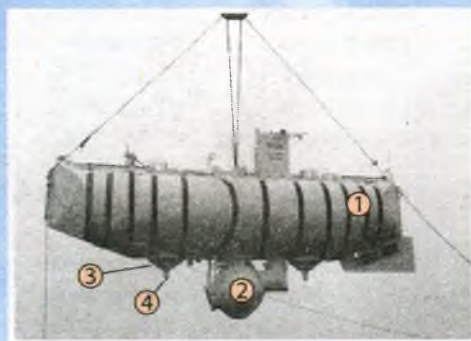
### ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ



## Зачем ныряльщику воздушный шар

В свое время воздушный шар был сконструирован для полетов человека «за облака». Сегодня благодаря развитию техники воздушные шары и дирижабли используют не как транспортные средства, а в основном для развлечений. Реализация же самой идеи в другой отрасли техники позволила создать *батискафы* — аппараты для глубоководных исследований. Самым известным из батискафов стал «Триест», который в январе 1960 г. достиг самой глубокой точки в Мировом океане — Марианской впадины.

Попробуем представить ход рассуждений конструкторов батискафа. Если поместить воздушный шар на поверхность моря и нагрузить его балластом так, чтобы вся конструкция оказалась «тяжелее» воды, то естественно, что шар начнет погружаться в воду и через некоторое время достигнет дна. Если после этого сбросить балласт, то шар всплывет на поверхность. Но это общая идея, а как ее реализовать на практике? Рассмотрим рисунки.



Батискаф  
«Триест»

Основной элемент конструкции батискафа — «воздушный шар» (1). Однако воздухом шар заполнять не стали, поскольку давление на большой глубине его просто раздавило бы. Шар заполнили бензином: он легче воды, а значит, не хуже воздуха обеспечивает всплытие аппарата, да и стенки шара в таком случае можно сделать достаточно тонкими, а значит, легкими, так как от деформирования их будет защищать несжимаемость жидкости внутри. Гондола с толстыми стенками (толщиной 127 мм) (2) — надежное место для экипажа из двух человек. Балласт (железную дробь) засыпали в емкости, похожие на перевернутые бидоны с крышками (3) и закрывающиеся электромагнитными замками (4).

Питание батискафа осуществлялось от аккумуляторов, имеющих ограниченный ресурс. Это означает, что в случае аварии аккумуляторы через некоторое время прекратят подавать ток к электромагнитным замкам. В результате крышки откроются, балласт упадет на дно, а батискаф всплывет на поверхность. К счастью, эти меры предосторожности так и не пригодились.

С момента погружения «Триеста» прошло более полувека. За это время человечество осуществило настоящий прорыв во многих отраслях техники, но конструкция «Триеста» осталась непревзойденной!

## Полеты на поезде, или Что такое маглев

Если мужчине не хватает сил переставить тяжелый шкаф, он может принять стандартное решение — увеличить силу, то есть пригласить на помощь соседа. А может вспомнить, что шкаф плохо движется из-за большой силы трения, и, позвав добросовестного учащегося 7 класса, вместе с ним придумать, как уменьшить эту силу.

В результате они, например, могут подложить под углы (ножки) шкафа обыкновенные пластиковые крышки. Сила трения уменьшится, и, чтобы переставить шкаф, будет достаточно усилий даже одного человека. А как решают подобные задачи при создании сложных технических устройств?



Маглев-поезд  
в Шанхае (Китай)



Для уменьшения силы трения обычно используют машинные масла — вещества, обеспечивающие более легкое скольжение соприкасающихся поверхностей. Силу трения скольжения можно уменьшить, используя соответствующие соприкасающиеся материалы (вспомните пример со шкафом). Однако поверхности все равно будут соприкасаться и трение останется. Вот если бы шкаф мог летать над землей... И было придумано вот что.

Если взять два магнита и сблизить их определенным образом, магниты будут отталкиваться. А теперь проведем мысленный эксперимент. Что будет, если мощный магнит разместить, например, на подставке, а сверху к нему поднести небольшой магнит? Если второй магнит будет достаточно легким, то есть таким, чтобы сила магнитного отталкивания уравновесила силу притяжения Земли, то он должен летать в воздухе!

Устройства, использующие описанный выше эффект, получили общее название «маглев» (сокращенное от англ. *magnetic levitation* — магнитная левитация). Больше всего, наверное, поражают маглев-поезда. При движении такие поезда не касаются путей — они удерживаются над ними мощными магнитами. Таким образом, трение по опоре отсутствует, а препятствует движению маглев-поездов только сопротивление воздуха (как и движению самолетов!). Именно поэтому скорость движения маглев-поезда приближается к скорости движения самолета (500–600 км/ч).

## Темы рефератов и сообщений

1. Инертность в технике и быту.
2. Эволюция рычажных весов.
3. Г. Галилей, И. Ньютон. Открытие законов механики.
4. Что такое твердое машинное масло?
5. Будет ли мешать невесомость в повседневной жизни?
6. Без силы трения нет жизни.
7. Способы увеличения и уменьшения трения в живой природе.
8. Как уменьшить сопротивление воздуха.
9. Жизнь и достижения Блеза Паскаля.
10. Демонстрация силы давления атмосферного воздуха: удивительный опыт бургомистра Магдебурга Отто фон Герике.
11. Гидравлические машины.
12. Тормоза автомобиля как гидравлическая машина.
13. Глубины, покоренные аквалангистами. Меры безопасности при покорении морских глубин.
14. Аппараты для изучения морских и океанских глубин.
15. Легенды и мифы о жизни Архимеда.
16. Состав атмосферы и атмосферное давление на планетах Солнечной системы.
17. История полетов на воздушных шарах.
18. От воздушного шара до современных самолетов.
19. От древних парусников до современных океанских лайнеров.
20. Выдающийся конструктор украинского происхождения И. И. Сикорский.
21. Интернет-дирижабли.

## Темы экспериментальных исследований

1. Измерение плотности жидкости ареометром, изготовленным из подручных средств.
2. Определение коэффициента трения между компонентами сыпучих строительных материалов.
3. Моделирование процесса образования снежных лавин с помощью подручных сыпучих веществ: пшена, манки, муки и т. п.
4. Создание модели фонтана и демонстрация его действия.
5. Создание модели «Барометр для рыбаков».
6. Моделирование плавания судов с помощью домашней посуды.
7. Создание модели для демонстрации закона Паскаля.

# РАЗДЕЛ 4

## МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

- Вы знаете, как определить силу и путь, а узнаете, как вычислить работу
- Вы имеете представление о мощных двигателях, а будете знать, как рассчитать их мощность
- Вы знаете, что существуют механическая, электрическая, атомная энергии, а узнаете, какой энергией обладает движущееся тело и как называется энергия взаимодействия
- Вы знаете, что для получения выигрыша в силе человек использует простые механизмы, а узнаете, на каких законах основано действие этих механизмов
- Вы слышали о коэффициенте полезного действия, а будете знать, как его можно увеличить

