И. М. Перышкин, А. И. Иванов

ФИЗИКА



7

БАЗОВЫЙ
УРОВЕНЬ

И. М. Перышкин, А. И. Иванов

ФИЗИКА

7 класс

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

УЧЕБНИК

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

6-е издание, стереотипное

Москва
«Просвещение»
2026

Введение

ФИЗИКА И ЕЁ РОЛЬ В ПОЗНАНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

§ 1 ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА



МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ

(1711—1765)

Выдающийся русский учёный. Внёс огромный вклад в развитие естественных наук, в частности в теорию строения вещества

Человечество хранит в своей памяти имена великих писателей, художников, музыкантов, архитекторов, конструкторов, полководцев, учёных. Это люди, которые создавали и развивали культуру и науку.

Среди имён, вошедших в историю, заметную часть составляют люди, заложившие основы физики (от греч. *фюзис* — природа). Первым исследователем, который обобщил труды своих предшественников в области физики и создал единую научную систему, был ***Аристотель*** (384—322 до н. э.).

В русский язык слово «физика» ввёл в XVIII в. ***Михаил Васильевич Ломоносов***. Он же создал первую русскую физическую терминологию.

Физика — одна из наук, изучающих природу и происходящие в ней изменения.

Изменения, происходящие в природе, называют явлениями.

День сменяется ночью (рис. 1), дует ветер, сходят снежные лавины, опадают листья, тает снег, едет автомобиль — это лишь некоторые примеры явлений. Посмотрите вокруг, и вы сможете привести ещё много других примеров.

Различают *биологические, физические, химические* и другие явления.

С *биологическими явлениями* — изменениями, которые происходят с телами живой природы, т. е. организмами, — вы знакомы из курса биологии. Горение свечи, образование из молока



Рис. 1. Смена дня и ночи



Примеры химических и биологических явлений

простокваши, возникновение ржавчины на железной детали — это примеры *химических явлений*; в них происходит изменение вещества.

Физические явления очень разнообразны. Различают *механические, тепловые, световые, звуковые, электрические, магнитные* и другие явления. Например, движение шарика по столу — изменение его положения на столе с течением времени — это пример механического явления, замерзание воды — теплового, радуга — светового, притяжение магнитом железных предметов — магнитного. Явления природы сложны, обычно в одном природном явлении можно выделить сразу несколько физических явлений. Нагревание воды — повышение её температуры — тепловое явление. Однако, наблюдая за водой в чайнике, обнаружим, что в нагревающейся воде начинается движение пузырьков — механическое явление, возникает шум — звуковое явление.

Физические явления подчиняются определённым правилам, закономерностям, которые называют ***законами физики***. Физика изучает наиболее общие свойства окружающего нас мира, поэтому её законами пользуются все науки о природе: биология, химия, география, астрономия и др. Например, устройство и принцип действия микроскопа основаны на законах физики. В географии законы физики используют для объяснения извилистого русла рек, схода ледников, образования ветров и др.

Много вопросов возникает у вас, если вы интересуетесь миром, в котором живёте, и хотите понять его. Почему небо голубое? Почему вечером над рекой стелется туман? Почему один из полюсов магнитной стрелки указывает на север?

Задача физики заключается в том, чтобы находить объяснения физическим явлениям, выявлять их общие свойства, открывать физические законы. Понять, как связаны между собой различные явления, познакомиться с жизнью учёных, открывших важнейшие законы, научиться ставить опыты и решать самые разные задачи вы сможете на уроках физики.

1. Что изучает физика? **2.** Какие науки, занимающиеся изучением природы, помимо физики, вы знаете? **3.** Приведите примеры химических, биологических и физических явлений.

Вспомните из курса географии причину смены дня и ночи на Земле. Объясните это явление, используя рисунок 1. Почему земная ось изображена на рисунке не вертикально?

ЗАДАНИЕ 1

1. Какие из перечисленных явлений следует отнести к физическим: а) пластмассовая расчёска, которой расчесали волосы, притянула к себе мелкие кусочки бумаги; б) солнечный луч отразился от зеркала, и на стене появился солнечный зайчик; в) молоко прокисло; г) кусок мела упал и раскрошился; д) в кружке, которую забыли помыть, выросла плесень?
2. Начертите в тетради таблицу. Распределите перечисленные явления по соответствующим столбцам: свинец плавится, снег тает, звёзды мерцают, вода кипит, плывёт бревно, облака движутся, гремит гром, летит голубь, сверкает молния, шелестит листва, горит лампа.

Механические	Звуковые	Тепловые	Световые

Если одно и то же природное явление окажется в нескольких столбцах, объясните, как в нём проявляются различные физические явления.

§ 2 НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ



Рис. 2. Физические тела

Вы, наверное, уже знаете, что каждая наука имеет свой язык. При описании физических явлений используют специальные слова — *физические термины*.

Оглянитесь вокруг — какое разнообразие предметов нас окружает: люди, дома, автомобили, деревья. В вашем портфеле лежат ручки, карандаши, книги. Всё даже невозможно перечислить! В физике любой из окружающих нас предметов (рис. 2) называют ***физическим телом*** или просто ***телом***.

Чем различаются тела? Если из куска пластилина слепить, например, слоника, получится предмет того же объёма, но другой формы (рис. 3). Значит, тела могут различаться формой!

В каждом доме найдутся тела одинаковой формы, но разного объёма (рис. 4).



Рис. 3. Тела разной формы, но одинакового объёма



Рис. 4. Тела одинаковой формы, но разного объёма

А могут быть тела одинаковой формы и одинакового объёма, но при этом сделанные из разных материалов. То, из чего состоят тела, физики называют ***веществом***. Так, алюминиевая ложка — это тело, а алюминий — вещество; капля воды — тело, вода — вещество.

Но не всё в природе можно назвать веществом. Так, свет, идущий от Солнца, не является веществом. Кроме веществ в природе существуют ***поля***: магнитное, электрическое и др. Поля не всегда можно опознать с помощью органов чувств, но легко обнаружить с помощью приборов. Например, стрелка компаса реагирует на магнитное поле.

Вещество и поле — разные виды *материи*.

Материя — это всё то, что существует в природе независимо от нашего сознания.

Материальны планеты, деревья, здания, солнечный свет, радиоволны и др., и существование всего этого можно обнаружить экспериментально. Весь окружающий мир представляет собой материю в её разнообразных формах. И это не только все наблюдаемые и регистрируемые сегодня тела и объекты, но и те, что будут обнаружены в будущем с помощью усовершенствованных средств наблюдения.

1. Что называют физическим телом? Приведите примеры физических тел. **2.** Что называют веществом? Приведите примеры веществ. **3.** Приведите примеры тел одинаковой формы. Что вы можете сказать об их объёме и веществе, из которого они состоят?

На какие три группы можно разделить приведённые слова: свинец, гром, стол, снегопад, медь, закат, метель, Марс, вода, нож, самолёт, нефть, кипение, рельсы, выстрел, наводнение?

ЗАДАНИЕ 2

1. Выберите из текста слова, обозначающие тела и вещества: «Из пластмассы легко сделать изделия самых разных форм. Это связано с тем, что пластмасса легко прессуется, отливается, шлифуется, окрашивается, вытягивается в нити и плёнки».
2. С помощью Интернета и других источников информации подготовьте небольшое сообщение, подтверждающее мысль о том, что материя не ограничена нашими знаниями о ней, на примере открытия планеты Нептун, экзопланет или других объектов.

§ 3 НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ

Изучая явления природы, человек установил, что *всякое изменение в природе происходит закономерно*, т. е. существует причина, по которой это явление протекает.

Цель любой естественной науки, одной из которых является физика, — описание, объяснение наблюдаемых явлений, установление законов природы, которые могут объяснить известные и предсказать новые явления.

Объединяет все естественные науки объект исследования — природа. Общими для этих наук являются и методы, которыми проводится научное исследование.

Изучение физических явлений начинают с ***наблюдения***. Как узнать о том, что все тела падают на землю, не наблюдая падения тел? Как понять, что такое молния, не наблюдая её? Наблюдение осуществляется с помощью органов чувств человека или приборов.



Наблюдение звёздного неба

Однако для понимания и объяснения физических явлений только наблюдений недостаточно. Поэтому учёные воспроизводят явления в лаборатории и исследуют их в специально созданных условиях — проводят ***опыты***, или, как говорят физики, ставят *эксперимент*. При проведении опытов выполняют ***измерения***.

На основе результатов наблюдений и опытов учёные выдвигают ***гипотезы*** (предположения) о закономерностях, свойственных изучаемому явлению, или его причинах. Проверяют гипотезы также опытами. Проводя опыты, физики как бы задают вопросы природе, а затем пытаются истолковать её «ответы».

Обратимся к примеру. Из наблюдений и жизненного опыта вы знаете, что с одинаковой высоты разные тела падают на поверхность Земли за разное время. Так, стальной шарик достигает земли быстрее, чем пёрышко. Можно предположить, что причиной разного времени падения является разница в массе тел, и выдвинуть гипотезу: более тяжёлое тело всегда падает быс-



Рис. 5. Пизанская башня, где проводил свои исследования Галилей

трее лёгкого. Как это проверить? Надо спланировать и провести опыты, которые могли бы подтвердить данную гипотезу или опровергнуть её.

Если гипотеза верна, то тела одинаковой массы должны достигать земли одновременно. Проверим это на опыте. Возьмём два одинаковых листа бумаги, один из которых сомнём в комок, и одновременно с одинаковой высоты выпустим их из рук. Первым на пол упадёт скомканный лист. Значит, разное время падения обусловлено не разницей в массе тел, а другой причиной. Гипотеза не подтвердилась, хотя казалась такой очевидной.

Результат опыта опроверг исходную гипотезу, но он позволит нам высказать новую. Возможно, что-то мешает падению бумаги. Может быть, окружающий воздух существенно замедляет падение расправленного листа, а на скомканный лист влияет слабее?

К выводу о том, что именно влияние воздуха является причиной разного времени падения тел, пришёл в XVI в. ***Галилео Галилей***, которого по праву считают основателем экспериментальной физики. Галилей понял, что, изучая природу, нельзя ограничиваться наблюдениями, нужно придумывать и проводить опыты. Согласно легенде, учёный ронял с Пизанской башни (рис. 5) металлические шары, существенно различающиеся по массе, демонстрируя, что они достигают земли почти одновременно. Как вы, наверное, догадались, тяжёлые шары были выбраны для того, чтобы воздух как можно меньше искажал картину падения.



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

(1564—1642)

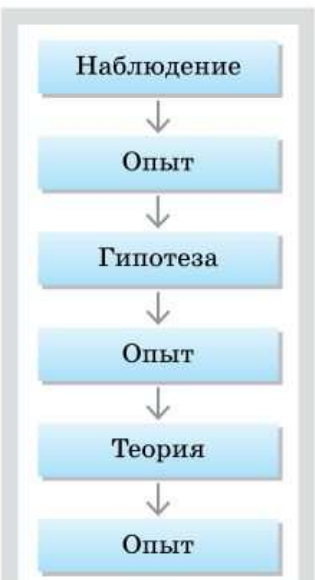
Итальянский физик, механик, астроном. Один из основателей естествознания

Важнейшей заслугой Галилея является то, что в своих исследованиях он начал широко использовать математику. Так, изучая падение тел, Галилей выдвинул гипотезу, что в отсутствие сопротивления воздуха скорость тела растёт прямо пропорционально времени. Из этой гипотезы он математически вывел, что пройденный телом путь должен быть прямо пропорционален квадрату вре-

мени, а затем на опытах убедился в справедливости своего вывода.

Сегодня любая научная статья по физике наполнена разнообразными математическими символами. Дело в том, что законы физики формулируются на математическом языке с помощью формул. Физики получают «ответы природы» в виде показаний приборов и пытаются уловить в этих данных математические закономерности. При этом объекты реального мира они заменяют ***моделями*** — идеализированными объектами, отражающими только те свойства реальности, которые наиболее существенны в изучаемом вопросе. Например, физическое тело в некоторых случаях рассматривают как точку, пучок света — как луч и т. д. Из найденных закономерностей логически выводят следствия, которые также проверяют экспериментом.

На основе установленных законов создаётся физическая ***теория***, способная объяснить широкий круг явлений. Так, теория тяготения, созданная в XVII в. английским физиком ***Исааком Ньютоном***, объясняет не только падение тел на землю, но и движение Луны вокруг Земли, планет вокруг Солнца и многое другое. Однако теория не только объясняет известные явления, но и обладает предсказательной силой. Так, теория Ньютона позволила предсказать появление в 1758 г. кометы Галлея, которую до этого наблюдали в 1682 г. В 1846 г. благодаря предварительным расчётам, выполненным на основании теории тяготения, была обнаружена восьмая планета Солнечной системы — Нептун.



Цикл научного познания

Путь от наблюдения явления до создания научной теории зачастую очень непрост и долог. Не одно поколение учёных движется в познании мира в соответствии с *циклом научного познания*: наблюдение явления, постановка опыта, выдвижение гипотезы, проверка гипотезы опытом, построение теории, проверка теории опытом. Когда предсказания теории не подтверждаются опытом, теорию уточняют, затем делают новые предсказания и т. д. Цикл

повторяется, но не по кругу, а по развёртывающейся спирали, ведя к всё более полному познанию явлений природы.

1. Как получают знания о явлениях природы? **2.** В чём разница между наблюдением и опытом? **3.** Может ли гипотеза быть ошибочной? Как определить истинность гипотезы? **4.** Назовите основные этапы цикла научного познания.

1. Летним утром на траве обнаружили капельки росы. На наружной стороне специально охлаждаемого сосуда получены капельки влаги. В каком случае явление образования росы изучалось путём наблюдения, а в каком — путём постановки опыта? Ответ поясните.

2. Какие опыты вы предложили бы провести, чтобы проверить гипотезу о том, что различие во времени падения тел обусловлено сопротивлением воздуха?

3. Вам поставлена задача определить, как зависит время таяния данного кусочка льда от температуры окружающего воздуха. Приведите последовательность ваших действий, аргументируйте её.

§ 4 ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Приходилось ли вам что-либо измерять? Если вы скажете «нет», то ошибётесь. У каждого человека возникает необходимость взглянуть на часы, которые измеряют время, измерить температуру тела или воздуха, узнать массу покупаемого товара и т. п. Время, температура, масса являются ***физическими величинами***.

Физической величиной называют количественную характеристику свойств тела или физического явления.

Например, время характеризует длительность процесса, температура — степень нагретости тела. Для того чтобы определить *значение* физической величины, её нужно измерить.

Измерить физическую величину — это значит сравнить её с однородной величиной, принятой за единицу.

Предположим, с помощью рулетки (рис. 6, *а*) определили, что длина стола составляет два метра. Это означает, что в длине стола укладывается два отрезка длиной в один метр. В этом случае длину стола сравнили с метром. Или другой



а)

б)

Рис. 6. Приборы для измерения длины:
а — рулетка;
б — линейка

пример: измеряя длину отрезка, вы прикладываете линейку (рис. 6, *б*) и определяете, сколько миллиметров укладывается между началом и концом отрезка. Вы сравниваете длину отрезка с одним миллиметром и получаете значение длины в миллиметрах.

Для символического обозначения физических величин используют буквы латинского и греческого алфавитов. Например, то, что длина стола составляет два метра, записывают так: $l = 2$ м. В этой записи l — обозначение физической величины «длина», 2 — числовое значение длины, м — обозначение единицы длины (метра), а сочетание 2 м — значение длины. Таким образом, значение физической величины — это не просто число, а число (числовое значение) и единица величины.

В разные времена разными народами использовались различные меры (единицы) длины. Кочующие монголы определяли расстояния в верблюжьих и лошадиных переходах. Небольшие расстояния измерялись шагами. Русский народ долгое время использовал в качестве меры длины локоть. Но локоть и шаг у различных людей разные, а развитие торговли и ремёсел требовало единых мер. Поэтому, когда в конце XVIII в. стали активно развиваться международные торговые связи, для удобства и точности была введена единая система мер.

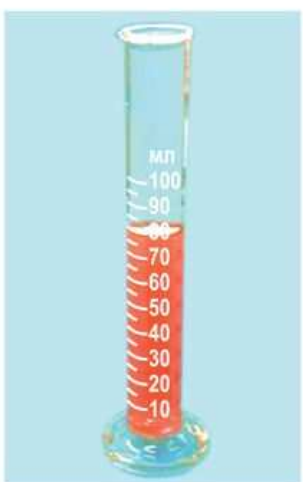


Рис. 7. Измерительный цилиндр

С развитием науки усовершенствовалась и система мер. В 1960 г. была принята Международная система единиц — СИ (SI — сокращение от фр. Système international d'unités), которая и сейчас используется в большинстве стран мира, в том числе в России. Эта система построена на базе семи единиц физических величин, которые называют *основными*. Основными единицами являются *метр* **(м)** — единица длины, *секунда* **(с)** — единица времени, *килограмм* **(кг)** — единица массы и некоторые другие. Все остальные единицы, кроме семи основных, называют *производными*, они выражаются через основные единицы. Например,



Рис. 8. Секундомер



Рис. 9. Амперметр



Рис. 10. Вольтметр

производной единицей является *квадратный метр* (м^2) — единица площади.

Часто бывает, что значение измеряемой величины гораздо меньше единицы величины. В таких случаях применяют *дольные единицы*, которые в 10, 100 и т. д. раз меньше принятых. Названия дольных единиц образуются с помощью известных вам приставок (табл. 1).

Таблица 1. Приставки к названиям единиц

	Обозначение	Приставка	Множитель[1]
Дольные	д	деци	0,1 (или 10^{-1})
	с	санти	0,01 (или 10^{-2})
	м	милли	0,001 (или 10^{-3})
Кратные	г	гекто	100 (или 10^2)
	к	кило	1000 (или 10^3)
	М	мега	1 000 000 (или 10^6)

Для записи больших значений физических величин пользуются *кратными единицами*, которые больше принятых в 10, 100 и т. д. раз. Их названия также образуются с помощью приставок (см. табл. 1).

Для измерения физических величин служат ***измерительные приборы***. Хорошо известными вам измерительными приборами являются линейка (см. рис. 6, *б*), измерительный цилиндр (рис. 7), секундомер (рис. 8), термометр, весы. Выполняя лабораторные работы, вы познакомитесь с другими приборами (рис. 9, 10), узнаете их принцип действия и научитесь снимать показания. Измерительные приборы бывают цифровые и шкальные (рис. 11, 12).

Линейка, как и большинство измерительных приборов, снабжена ***шкалой***. Шкала представ-

[1] Числа с большим количеством нулей использовать неудобно. Договорились записывать очень большие и очень маленькие числа в виде произведения $a \cdot 10^n$, где $1 \leqslant a < 10$, n — целое число. Такая компактная запись называется *стандартным видом числа*.



а) б)

Рис. 11. Термометр:
а — электронный;
б — спиртовой



а)



б)

Рис. 12. Электронные приборы:
а — весы;
б — лазерный дальномер

ляет собой совокупность штрихов и чисел, соответствующих различным значениям измеряемой величины. Из курса математики вам известно, что

промежуток между двумя ближайшими штрихами называют делением шкалы.

Определим, какому значению величины соответствует деление шкалы, на примере линейки. Шкала линейки (см. рис. 6, *б*) имеет штрихи, обозначенные числами, расстояние между которыми разделено на 10 частей штрихами, около которых числа не написаны. Числовые значения нанесены в сантиметрах, значит, деление шкалы соответствует десятой части сантиметра — одному миллиметру.

Значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы, называют ценой деления.

Кроме линейки, для измерения длины существуют такие приборы, как рулетка, штангенциркуль, микрометр и др.

Прежде чем выполнять измерение физической величины, нужно определить цену деления шкалы измерительного прибора.

Чтобы определить цену деления шкалы измерительного цилиндра (см. рис. 7), выберем два соседних обозначенных штриха, например 40 и 50 мл. Между ними имеется два деления. Таким образом, цена деления шкалы будет равна

$$\frac{50\text{ мл} - 40\text{ мл}}{2} = 5\text{ мл}.$$

Ещё одна важная характеристика, которую можно узнать по шкале прибора, — ***пределы измерения***. Пределы измерения — наименьшее и наибольшее значения физической величины, которые могут быть измерены с помощью этого прибора. Так, нижний предел измерительного цилиндра на рисунке 7 равен 10 мл, верхний — 100 мл.

Если физическая величина измеряется непосредственно путём снятия данных со шкалы

прибора, такое измерение называют ***прямым***. Прямым измерением определяются, например, размеры (длина a, ширина b, высота c) книги линейкой. А вот для того чтобы рассчитать её объём, нужно полученные значения перемножить:

$$V = abc.$$

В этом случае говорят, что объём книги определён путём ***косвенных измерений***.

1. Что отличает физическую величину от числа? **2.** Что значит измерить какую-либо физическую величину? **3.** Каковы единицы длины, времени, массы в СИ? **4.** Как определяется цена деления шкалы измерительного прибора? **5.** Приведите примеры измерительных приборов, которые имеются у вас дома. Знаете ли вы, какие физические величины ими измеряют? **6.** Приведите примеры прямых и косвенных измерений, которые вам приходилось проводить.

Сформулируйте общее правило для определения цены деления шкалы измерительного прибора.

УПРАЖНЕНИЕ 1

1. По рисунку 8 определите цену деления шкалы секундомера.
2. Определите цену деления шкалы и пределы измерения вольтметра (см. рис. 10). Вольтметр измеряет напряжение в электрической цепи, единица напряжения — вольт (В). Числовые значения на шкале вольтметра на рисунке 10 нанесены в вольтах.
3. Заполните таблицу.

Физическое тело	Размер			
	мм	см	м	км
Диаметр монеты 10 р. (сталь)	22			
Высота листа бумаги А4		30		
Высота здания			35	

4. Сравните, что больше: 40 мин или $\frac{3}{4}$ ч.
5. Все знают выражение «от горшка два вершка». А сколько это в сантиметрах (высоту горшка принять равной 25 см)? Информацию о соотношении вершка с сантиметром найдите на с. 15.

ЗАДАНИЕ 3

1. Найдите в Интернете или в других источниках информации меры объёма, использовавшиеся в Древней Руси. Почему в современном мире ими не пользуются?
2. Измерьте температуру тела с помощью ртутного термометра и электронного. Сравните показания приборов и сделайте вывод.

Это любопытно...

Старинные меры

Различные измерения люди проводили с давних времён. Например, на Руси в XI—XVI вв. небольшие расстояния измеряли в локтях (рис. 13). Это расстояние от кончика среднего пальца до локтя. Такая единица измерения была очень удобна, так как всегда была «под рукой». Часто использовали и другие единицы длины: пядь (расстояние от кончика указательного до кончика большого пальца растопыренной руки), сажень (расстояние между кончиками пальцев при разведённых в сторону руках), верста (расстояние между дорожными столбами), вершок (длина фаланги указательного пальца), аршин (16 вершков).

В Англии, США и некоторых других странах до настоящего времени широко распространены так называемые английские меры длины: дюйм (ширина большого пальца у основания), фут (длина ступни), миля сухопутная и морская.



Рис. 13. В старину мерой длины был сам человек

Русские меры

Меры длины
1 аршин = 71,12 см
1 вершок = 4,445 см
1 косая сажень = 2,48 м
1 пядь (четверть) = 17,78 см
1 верста = 1,0668 км

Меры веса
1 пуд = 16,38 кг
1 фунт = 0,41 кг
1 унция = 29,86 г

Иностранные меры

Меры длины
1 миля (англ.) = 1,609 км
1 ярд = 91,44 см

Меры веса
1 фунт (англ.) = 0,44 кг
1 унция = 28,35 г
1 карат = 0,2 г

Меры объёма
1 баррель = 159 л
1 галлон = 4,546 л
1 пинта (англ., США) = 0,57 л



В рассказе «Муму» И. С. Тургенев описывает Герасима как мужчину двенадцати вершков роста, сложённого богатырём. Нет ли здесь ошибки? Выскажите предположение, способное объяснить такое описание.

§ 5 ТОЧНОСТЬ И ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Физика — наука экспериментальная. Эксперимент, с одной стороны, является источником знаний. С другой стороны, с помощью эксперимента проверяется правильность полученных знаний.

В ходе экспериментов необходимо проводить измерения. Они могут быть совсем простыми или очень сложными. Как бы это ни казалось странным, объединяет их то, что никакое измерение нельзя выполнить абсолютно точно. Покажем это на примере.

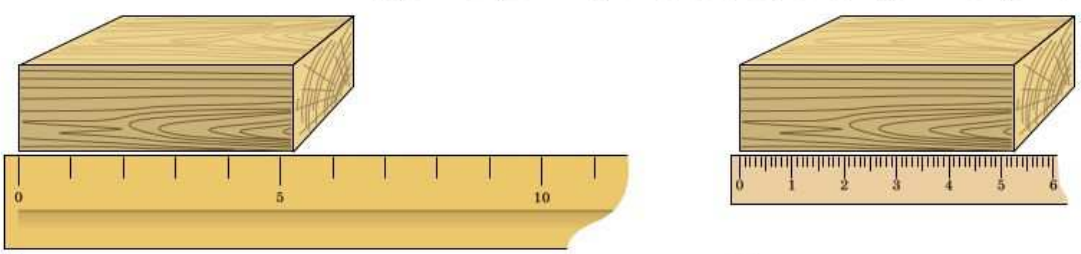
Измерим длину деревянного бруска с помощью демонстрационной линейки. Для этого прежде всего определим цену деления шкалы линейки (рис. 14, *а*), она равна 1 см. Левый конец бруска совместим с 0, правый его конец окажется между штрихами 5 и 6, но ближе к штриху с числом 5. В таком случае измеренное значение длины бруска считают равным 5 см. При этом мы допускаем неточность и определяем длину бруска с некоторой ***погрешностью***.

Абсолютной погрешностью называют отклонение результата измерения от истинного значения физической величины.

При записи результатов измерения величин с учётом абсолютной погрешности пользуются формулой

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

где A — измеряемая величина, a — результат измерений, Δa — абсолютная погрешность измерения (Δ — греческая буква «дельта»). То есть



а) *б)*

Рис. 14. Измерение длины бруска с помощью линейки: *а* — демонстрационной; *б* — ученической

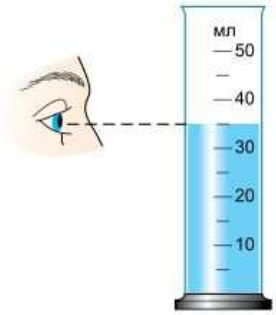


Рис. 15. Положение глаза наблюдателя при снятии показаний со шкалы измерительного цилиндра

истинное значение величины находится в пределах от $a - \Delta a$ до $a + \Delta a$.

Погрешность измерения зависит от многих факторов, но в основном она обусловлена двумя причинами.

Измеряя длину бруска, мы определили, что ближайшим к краю бруска является штрих с числом 5, и приняли значение 5 см за длину бруска. При этом мы допустили погрешность, которую называют ***погрешностью отсчёта***. Такая погрешность может быть вызвана и эффектом смещения края измеряемого тела или стрелки прибора относительно шкалы в связи с неправильным положением глаза наблюдателя. Отсчёт показаний следует проводить, глядя перпендикулярно шкале прибора (рис. 15). Обычно погрешность отсчёта не превышает половины цены деления шкалы прибора.

Другая причина погрешности связана с несовершенством самого измерительного прибора, неточностью его градуировки, заложенной при изготовлении. Такую погрешность называют ***инструментальной***. Инструментальная погрешность указывается в паспорте измерительного прибора. Если погрешность не приведена, её считают равной половине цены деления шкалы прибора.

Абсолютная погрешность при прямом измерении равна сумме погрешности отсчёта и инструментальной погрешности. Так, абсолютная погрешность прямого измерения длины бруска демонстрационной линейкой равна $\Delta l = 0{,}5$ см $+ 0{,}5$ см $= 1$ см.

Можно ли повысить точность измерения? Измерим длину бруска линейкой с ценой деления шкалы 1 мм (рис. 14, *б*). Получим значение 52 мм. При этом абсолютная погрешность измерения $\Delta l = 0{,}5$ мм $+ 0{,}5$ мм $= 1$ мм.

Запишем с учётом абсолютной погрешности результаты измерений, выполненных обеими линейками:

$$l_1 = 5 \text{ см} \pm 1 \text{ см} = (5 \pm 1) \text{ см};$$

$$l_2 = 52 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм} = (52 \pm 1) \text{ мм} = (5{,}2 \pm 0{,}1) \text{ см}.$$

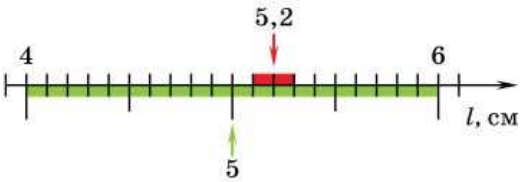


Рис. 16. Интервалы возможных значений длины бруска

Согласно первому измерению, длина бруска лежит в пределах от 4 до 6 см, а второму — от 5,1 до 5,3 см (рис. 16). Очевидно, что второй результат более точный. *Чем меньше цена деления шкалы прибора, тем выше точность измерения.*

Повторяя одно и то же измерение, часто можно заметить, что полученные результаты немного различаются. Это может быть связано с влиянием неконтролируемых в процессе эксперимента факторов (тряска, которую трудно исключить в условиях города, изменения температуры и влажности окружающего воздуха и т. д.). Чтобы проверить влияние случайных факторов, измерение выполняют 2—3 раза в одних и тех же условиях. Если результаты совпадают, то на этом останавливаются. Если же они расходятся, то измерение выполняют ещё несколько раз, а затем вычисляют *среднее арифметическое значение* полученных результатов. Его и считают значением измеряемой величины.

В процессе изучения физики вам предстоит проделать большое количество прямых измерений при выполнении экспериментальных заданий и лабораторных работ. Записывая результат, важно указать не только значение измеряемой величины, но и абсолютную погрешность измерения. Если не сказано иного, абсолютную погрешность при прямом однократном измерении следует считать равной цене деления шкалы прибора.

1. За счёт чего возникает погрешность при измерении? **2.** Что называют абсолютной погрешностью измерения? **3.** Из чего складывается абсолютная погрешность измерения? **4.** Как записать физическую величину с учётом абсолютной погрешности измерения?

1. В вашем распоряжении имеются линейка длиной 25 см с ценой деления 1 мм и измерительная лента длиной 10 м с ценой деления 1 см. Каким из приборов следует воспользоваться, чтобы измерить с большей точностью длину учебника; длину комнаты?

2. Как вы узнали, в некоторых случаях измерение проводят несколько раз и вычисляют среднее арифметическое значение результатов. В чём смысл этого? Не получится ли так, что среднее арифметическое будет ещё сильнее отличаться от истинного значения измеряемой величины, чем результаты отдельных измерений?

ЗАДАНИЕ 4

1. Измерьте линейкой с миллиметровыми делениями длину и ширину какого-либо предмета прямоугольной формы, например книги, пенала. Запишите результаты с учётом абсолютной погрешности измерения.

2. Определите показания термометра на рисунке 11, *б*. Запишите значение с учётом абсолютной погрешности измерения.

3. Определите длину окружности монеты: 1) прокатив её по линейке (рис. 17, *а*); 2) измерив диаметр монеты (рис. 17, *б*) и умножив его на число $\pi = 3{,}14$. Сравните результаты измерений. В каком случае вы проводили прямое измерение, в каком — косвенное?

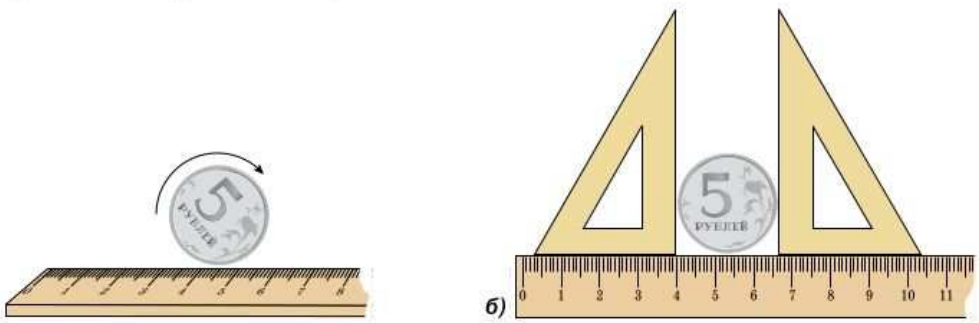


Рис. 17 *а)* *б)*

4. Измерьте время между ударами пульса. Для этого средним пальцем правой руки нащупайте у себя пульс на левом запястье. Измерьте время, в течение которого происходит 50 ударов пульса, с помощью секундной стрелки часов. Проведите измерение 5 раз. Одинаковое ли время у вас получилось в этих измерениях? Чему равно среднее время между ударами пульса? Для каких измерений можно использовать собственный пульс? Найдите информацию о том, кто из учёных использовал пульс при измерениях.

§ 6 ФИЗИКА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ

Любой современный человек пользуется достижениями науки и техники, которые всё больше и больше входят в нашу жизнь. Кто-то водит машину, кто-то работает за компьютером, все мы пользуемся разнообразной бытовой техникой.

А началось техническое развитие человечества с наблюдения за природой.



Рис. 18. Современная техника

Так, обнаружив, что камнями с острыми краями можно разбивать другие предметы, разрезать шкуры животных, человек стал широко их использовать.

Научившись выплавлять бронзу, из которой можно было изготавливать ножи, посуду, мечи, наконечники для копий, зеркала и украшения, человечество вошло в следующий период своего развития.

Таким образом, люди практически познавали природу и, пусть на примитивном уровне, применяли свои ещё донаучные знания на практике.

Прошли тысячелетия, прежде чем люди сумели овладеть силой ветра и воды, построить тепловые машины, электрические двигатели, заменить силу своих мышц многократно превосходящей их силой машин и механизмов (рис. 18). И в основе всех событий лежали научные исследования и открытия, являющиеся результатом деятельности различных учёных.

Архимед (287—212 до н. э.) был разносторонним учёным и инженером, внёсшим большой вклад в развитие физики. Он первым изучил законы плавания тел, его работы оставались актуальными в течение восемнадцати веков, интересны они и сейчас.

Греческий учёный ***Клавдий Птолемей*** (ок. 100 — ок. 170) разработал теорию планетных движений, которая позволяла рассчитывать движение планет, солнечные и лунные затмения на 100—200 лет вперёд. Он внёс вклад в развитие физики, математики и географии.

Леонардо да Винчи (1452—1519) — итальянский живописец, скульптор, архитектор, учёный, инженер. Он был одним из первых экспериментаторов.

Галилео Галилей считал основой познания опыт, установил законы инерции, свободного падения тел, заложил теорию колебаний; открыл горы на Луне, пятна на Солнце и др.



Английский учёный *Исаак Ньютон*, продолжая исследования Галилея, связанные с движением тел, создал классическую механику. Ньютон был крупнейшим математиком. Его работы по механике и оптике значительно опередили научный уровень своего времени.

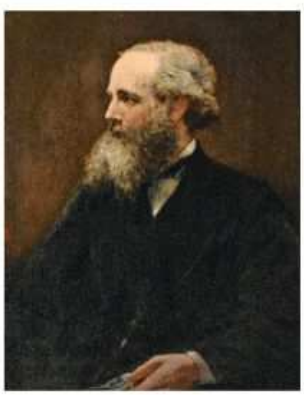
Джеймс Максвелл — выдающийся британский физик, создавший теорию электромагнитного поля. Теория Максвелла не только позволила объяснить явления, известные в то время, но и дала возможность сделать предсказания, которые перевернули жизнь людей и активно используются и в наши дни. Речь идёт о существовании электромагнитных волн, благодаря которым возможна, например, радиосвязь.

ИСААК НЬЮТОН

(1643—1727)

Английский физик, математик и астроном. Открыл основные законы движения тел и закон всемирного тяготения, заложил основы физической оптики, разработал важнейшие разделы высшей математики

За последние три столетия развитие науки и техники происходило в сотни раз быстрее, чем до XVIII в. В чём причины ускорения прогресса человеческой цивилизации? Основной причиной является развитие физики и влияние её на все области человеческой деятельности. Благодаря физике были созданы реактивные самолёты и ракеты, радио и телевидение, компьютеры и спутниковая связь (рис. 19). Человек полетел в космос, побывал на Луне.



Физика способствует развитию техники, но и техника позволяет достичь новых вершин в физике. Развитие техники даёт возможность создать новые более совершенные приборы и установки для исследования природы: радиолокаторы, электронные микроскопы, ядерные установки. Компьютеры позволяют производить сложнейшие расчёты, анализировать огромное количество опытных данных.

ДЖЕЙМС МАКСВЕЛЛ

(1831—1879)

Британский физик и математик. Создал теорию электромагнитного поля, предсказал существование в свободном пространстве электромагнитного излучения и его распространение со скоростью света

Блистательным примером взаимного влияния науки и техники является космонавтика. Люди всегда меч-





Рис. 19. Достижения современной науки

тали узнать, что происходит далеко в космосе. Но смогли они дотянуться до своей мечты только в XX в. В это время стали развиваться новые области физической науки: ядерная физика, физика элементарных частиц, физика твёрдого тела и др. Тогда работали великие учёные-физики нашей страны: Н. Г. Басов, П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, Л. И. Мандельштам, А. М. Прохоров, И. В. Курчатов и др.

Основоположником советской космонавтики был выдающийся учёный-конструктор ***Сергей Павлович Королёв***. Все первые достижения космонавтики связаны с его именем: запуск первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г., первый полёт человека в космос 12 апреля 1961 г., выход человека в открытый космос в 1965 г. Вы, конечно, знаете имена первого космонавта планеты ***Юрия Алексеевича Гагарина*** и первого человека, побывавшего в открытом космосе, ***Алексея Архиповича Леонова*** (1934—2019).



СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ КОРОЛЁВ

(1907—1966)

Российский конструктор, под руководством которого были построены первые пилотируемые космические корабли, отработана аппаратура для выхода человека в космос

Физика своими достижениями способствовала успехам многих наук:

— биологии — определение строения ДНК;

— истории, археологии и геологии — радиоуглеродный метод определения дат;

— медицины — физические методы диагностики заболеваний и их лечение;


а)


б)

Запуск космического корабля:
а — в США;
б — в России



ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ГАГАРИН

(1934—1968)

Советский лётчик-космонавт. Первый в мире человек, совершивший полёт в космическое пространство

— географии — объяснение причин таких явлений, как ветры, течения, изменения погоды, землетрясения и др.

В наши дни научные исследования происходят на стыке наук. Так возникли биофизика, физическая химия, геофизика, медицинская физика, астрофизика и др.

Современная физика достигла огромных успехов, но есть ещё много непонятого в нашем мире. Известный российский учёный-физик лауреат Нобелевской премии ***Виталий Лазаревич Гинзбург*** (1916—2009) назвал 30 проблем, стоящих перед физикой сегодня. Их решение обеспечит дальнейший прогресс человечества и, конечно, поставит новые вопросы. Назовём только несколько проблем, которые, видимо, придётся решать вашему поколению: управляемый ядерный синтез; высокотемпературная сверхпроводимость; создание металлического водорода.

1. Какое значение имеет физика для развития техники? Покажите это на примерах. **2.** Назовите известные вам имена учёных. Какие открытия ими были сделаны? **3.** Приведите примеры влияния развития техники на развитие науки.

ЗАДАНИЕ 5

1. Используя Интернет, соберите информацию по теме «Роль учёных нашей страны в изучении космоса». Выполненную работу оформите как презентацию.

2. Используя Интернет, подготовьте сравнительную таблицу «Человек в космосе» (дата, длительность полёта, число космонавтов, страна). Какие выводы вы можете сделать, проанализировав собранные данные?



3. Соберите информацию по теме «Применение лазеров в жизни человека» и подготовьте презентацию.

ИТОГИ ГЛАВЫ

Дорогие друзья!

Поздравляем вас с важным событием! Вы изучили первую в своей жизни главу из учебника физики!

Нам бы очень хотелось, чтобы после работы над этой главой у вас не осталось сомнений в том, что изучение наук, в том числе и физики, необходимо. Во-первых, это очень интересно. А во-вторых, способность науки объяснять различные явления, предсказывать новые позволяет людям использовать свои знания для управления необходимыми им процессами, происходящими в природе. И от того, как бережно мы это делаем, зависит будущее человечества и планеты в целом.

ОБСУДИМ?

Итак, как вы теперь знаете, изучение любого явления начинается с наблюдения. Вы почти ежедневно наблюдаете, как горячий чай, оставленный в чашке на столе, через какое-то время остывает. Выдвиньте гипотезы, от чего может зависеть время остывания чая до комнатной температуры. Придумайте и спланируйте опыты, которые позволят подтвердить или опровергнуть каждую вашу гипотезу.

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Измерительные приборы в жизни человека» (возможная форма: презентация, изготовление прибора, макета).
2. «Физические явления в стихах русских поэтов (А. С. Пушкина, М. Ю. Лермонтова, Н. А. Некрасова)» (возможная форма: презентация, эссе, реферат, зарисовки).

Глава 1
ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

§ 7 СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

С древних времён люди задумывались о том, как устроен окружающий мир. Ещё более 25 веков назад древнегреческий философ ***Демокрит*** (ок. 460 — ок. 370 до н. э.) предположил, что всё в мире состоит из очень малых неделимых и невидимых глазом частиц, названных им ***атомами***, что по-гречески означает «неделимый».

Каким образом могла родиться такая гипотеза? Давайте порассуждаем. Возьмём, например, некоторое количество воды и разделим его пополам. Свойства воды при этом останутся прежними. Обе части можно снова разделить пополам и т. д. Сразу же возникает вопрос: есть ли предел делению тела на части? Демокрит и последователи его атомистической школы отвечали на этот вопрос утвердительно. Однако утверждение о существовании атомов было только гипотезой, и о размерах атомов что-либо определённое сказать было нельзя.

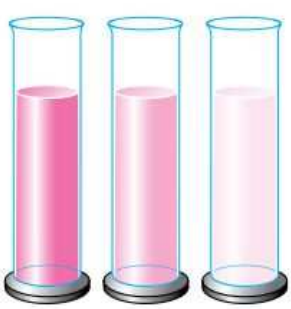


Рис. 20. Опыт, подтверждающий, что тела состоят из мельчайших частиц

Благодаря трудам многих учёных мира, в том числе и великого русского учёного М. В. Ломоносова, атомистические представления о строении вещества достигли уровня научной теории. Полное признание и активное развитие атомистическая теория, названная впоследствии молекулярной, получила лишь в XX в.

Если тела состоят из атомов, почему же мы этого не видим? Почему тела кажутся нам сплошными? Для ответа на этот вопрос проделаем несколько опытов.

Растворим в стакане с водой небольшое количество краски. Отольём в другой стакан немного



Рис. 21. Тепловое расширение металлического шара

окрашенной воды и дольём в него чистой воды. Жидкость стала бледнее, но осталась окрашенной. Теперь уже из второго стакана отольём часть жидкости и снова разбавим её чистой водой. Хорошо видно, что в третьем стакане вода тоже окрашена (рис. 20). Очевидно, что в третий стакан попали частицы краски, значит, капля краски состояла из большого числа очень маленьких частиц. Вода тоже состоит из мельчайших частиц. И между частицами, составляющими вещество, есть промежутки. Если бы вода представляла собой сплошное тело, как бы краска могла распространиться по всему объёму жидкости?

Косвенным доказательством того, что вещества состоят из частиц, между которыми есть промежутки, можно считать тепловое расширение тел. Проделаем опыт с металлическим шаром. Сначала шар свободно проходит сквозь металлическое кольцо (рис. 21, *а*). Но после нагревания он в кольце застревает (рис. 21, *б*). Через некоторое время шар остынет и снова сможет пройти сквозь кольцо.

При нагревании расширяются не только твёрдые тела. Опыт на рисунке 22 показывает, что и жидкости увеличивают свой объём при нагревании. Изменение объёма тел можно объяснить тем, что при нагревании промежутки между частицами вещества увеличиваются, а при охлаждении — уменьшаются.

Зависимость объёма тела от температуры используется в термометрах.

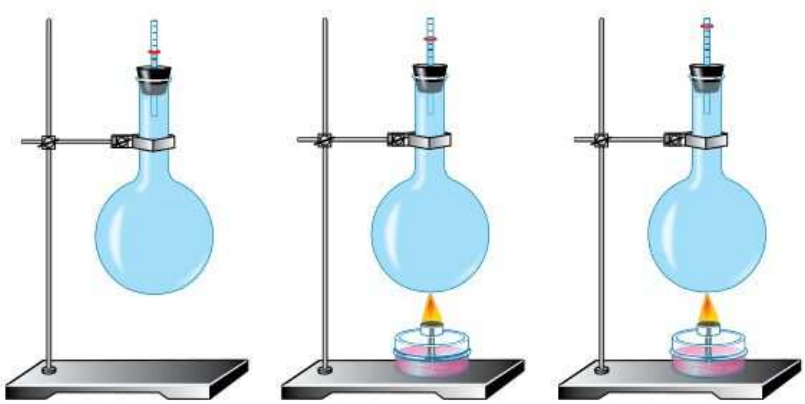


Рис. 22. Изменение объёма жидкости при нагревании

Все вещества состоят из частиц, разделённых промежутками. И только благодаря малости этих частиц и промежутков между ними тела кажутся нам сплошными.

1. Как можно доказать, что вещества состоят из мельчайших частиц? **2.** Приведите примеры опытов, показывающих, что частицы вещества очень малы. **3.** Объясните, почему меняется объём тела при нагревании. **4.** Опишите, как проводился опыт, показанный на рисунке 22. Какой вывод следует из этого опыта? Как объяснить его результаты? **5.** Можно ли утверждать, что объём воды в сосуде равен сумме объёмов частиц, из которых вода состоит?

1. Длина столбика ртути в медицинском термометре при нагревании увеличилась. Объясните почему.

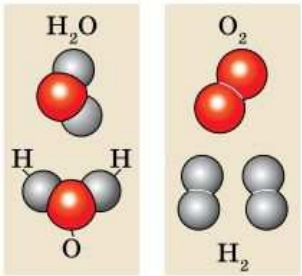
2. Сколько времени прошло между появлением предположения о том, что все тела состоят из мельчайших частиц, и признанием молекулярной теории строения вещества? Как вы думаете, почему этот временной промежуток так велик?

§ 8 МОЛЕКУЛЫ

Что же представляют собой мельчайшие частицы вещества?

Французский учёный ***Пьер Гассенди*** (XVII в.), развивая учение об атомарном строении вещества, предположил, что атомы отличаются друг от друга. Учёный считал, что количество различных атомов составляет примерно несколько десятков. Гассенди почти угадал: на сегодняшний день открыто 118 разновидностей атомов. Каждая разновидность (элемент) имеет своё название и обозначение. Атомы могут образовывать небольшие устойчивые группы. Эти группы Гассенди назвал ***молекулами***, т. е. «массочками» (от лат. *moles* — масса). Несмотря на то, что количество атомов ограничено, из них можно создать огромное количество молекул, что и объясняет большое разнообразие веществ в природе. Каждому веществу соответствует свой тип молекул.

Молекула вещества — это мельчайшая частица данного вещества.



а) *б)*

Рис. 23. При распаде двух молекул воды образуется одна молекула кислорода и две молекулы водорода:
а — молекулы воды;
б — молекулы водорода и кислорода

Например, самая маленькая частица углекислого газа — молекула углекислого газа. Она состоит из трёх атомов: двух атомов кислорода и одного атома углерода. Наименьшая частица воды — молекула воды — состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Существуют молекулы, состоящие и из большего числа атомов. В молекулах белков их содержится десятки и сотни тысяч.

Опыт показывает, что молекулы могут делиться на атомы и, наоборот, образовываться из них. Например, молекула воды (рис. 23, *а*) под действием электромагнитного излучения может распадаться на отдельные атомы. И наоборот, два атома могут слиться в одну молекулу (рис. 23, *б*). (То, что изображено на рисунках, конечно, не реальные атомы и молекулы, а их модели.)

При слиянии или делении молекул образуются новые вещества с совершенно другими свойствами. Например, в нижних слоях атмосферы под действием ультрафиолетового излучения, идущего от Солнца, из молекул кислорода образуется новое вещество — озон, молекулы которого содержат по три атома кислорода. Основная масса озона расположена на высоте 20—25 км. Этот слой озона предохраняет живые организмы на Земле от вредных составляющих солнечного излучения.



Электронный микроскоп позволяет получать изображения с увеличением до 10^6 раз

Существуют вещества, которые *состоят не из молекул, а из атомов*. Например, из атомов состоят кремний, сера, мышьяк, некоторые газы (неон, гелий и др.).

Прямое экспериментальное подтверждение реальности атомов и молекул было получено благодаря современным приборам — электронным и туннельным микроскопам. С помощью этих приборов удалось получить изображения, на которых различимы отдельные молекулы и атомы (рис. 24). До этого существование атомов и молекул доказывалось лишь косвенным

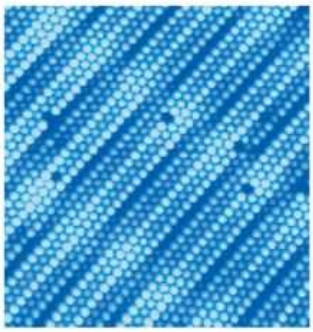


Рис. 24. Изображение атомов платины, полученное на туннельном микроскопе[1]

путём, и одно время учёные считали, что увидеть атомы и молекулы невозможно.

Что же показали экспериментальные исследования строения вещества?

Во-первых, то, что **все вещества состоят из молекул или атомов, между которыми существуют промежутки.**

Молекулы и атомы очень малы. Если, например, молекулу воды увеличить до размеров яблока, то яблоко, увеличенное во столько же раз, стало бы размером с Землю!

Грубую оценку размеров молекул с помощью довольно простого опыта получили немецкий физик ***Вильгельм Рентген*** (1845—1923) и английский физик ***Джон Рэлей*** (1842—1919), используя *метод масляных плёнок*.

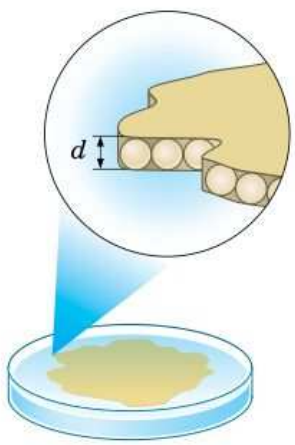


Рис. 25. Масляная плёнка на поверхности воды

На поверхность воды капают маленькую капельку спиртового раствора масла. Спирт растворяется в воде, а на поверхности воды образуется масляная плёнка, толщина которой, очевидно, не может быть меньше диаметра молекулы масла (рис. 25). Измерив площадь масляного пятна и зная объём капли, можно определить толщину плёнки d. Она оказалась порядка 10^{-9} м.

Во-вторых, **молекулы одного и того же вещества одинаковы.**

Явления превращения веществ, при которых образуются новые молекулы из тех же самых атомов, из которых состояли исходные вещества, вы будете изучать в курсе химии. В курсе физики мы будем рассматривать такие превращения вещества или проявления его свойств, при которых образование новых молекул не происходит.

1. Расскажите, что вам известно о молекулах. **2.** Из каких частиц состоит молекула водорода? **3.** Правильно ли утверждать, что наименьшей частицей водорода является атом? Почему?

[1] Изображение предоставлено Б. А. Логиновым (ПРОТОН — МИЭТ, Зеленоград).

УПРАЖНЕНИЕ 2

1. Капля масла объёмом 0,003 мм^3 растеклась по поверхности воды тонким слоем и заняла площадь 300 см^2. Принимая толщину слоя равной диаметру молекулы масла, определите этот диаметр.
2. Вы не раз наблюдали, как капли масляной жидкости растекаются по поверхности воды, образуя тонкие плёнки. Почему эти плёнки (при небольшом количестве масла) не могут покрыть всю поверхность водоёма?
3. Мощным прессом удаётся сжать даже такой плотный металл, как свинец, до 0,85 начального объёма. Чем объяснить такое значительное сжатие свинца?
4. Число молекул воздуха в ограниченном объёме в 1 см^3 очень велико — $2{,}7 \cdot 10^{19}$. Если сделать щель, через которую будет просачиваться по миллиону молекул в секунду, за сколько лет все молекулы покинут этот объём?

ЗАДАНИЕ 6

1. Возьмите бумагу в клетку и покройте одну клетку очень мелким песком (или манной крупой) в один слой. Обровняйте края иголкой и при помощи той же иголки сосчитайте число песчинок, уместившихся в этой клетке (при работе полезно пользоваться увеличительным стеклом). Посчитайте число песчинок в 1 см^2 (4 клетки).

   При помощи иголки плотно уложите песчинки в линию и сосчитайте, сколько песчинок уложится на отрезке длиной 1 см.

   Используя полученные данные, определите число песчинок в 1 см^3.

   Посчитайте, во сколько раз диаметр песчинки больше диаметра молекулы масла, который вы определили в задаче 1 упражнения 2.
2. Сделайте из цветного пластилина модели наименьшей частицы углекислого газа; кислорода.

§ 9 БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Вам известно, что вещества состоят из молекул (атомов), между которыми имеются промежутки. А как вы думаете, покоятся молекулы или движутся? Оказывается, составить мнение об этом можно, даже не видя самих молекул.

Шотландский ботаник ***Роберт Броун*** в 1827 г. сделал удивительное открытие: он наблюдал непрерывное беспорядочное (хаотическое) движение частиц пыльцы растений в жидкости. Движение частиц было настолько причудливо, что учёный вначале принял их за живые существа.



РОБЕРТ БРОУН

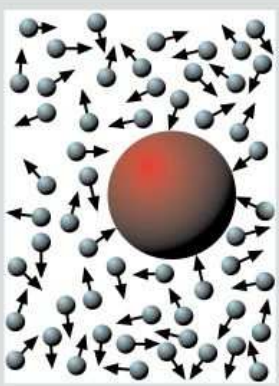
(1773—1858)

Шотландский ботаник. Первооткрыватель броуновского движения

Броун не смог дать объяснение явлению, которое теперь носит его имя. ***Броуновским*** назвали наблюдаемое движение твёрдых мелких частиц, находящихся в жидкости. Это движение объясняется тем, что с разных сторон каждую частицу ударяет разное число молекул жидкости. Частица движется в ту сторону, в которую воздействие молекул жидкости оказывается сильнее. Частицы, которые движутся под действием ударов молекул жидкости, называют ***броуновскими***. Хаотичность движения броуновских частиц свидетельствует и о беспорядочном характере движения молекул жидкости.

Итак, броуновское движение является следствием того, что **молекулы находятся в непрерывном беспорядочном (хаотическом) движении.**

Французский физик ***Жан Перрен*** (1870—1942) воспроизвёл броуновское движение с помощью тщательно отобранных крошечных шариков смолы гуммигута[1] определённого размера. Результаты этих опытов позволили Перрену определить массу атомов водорода и их количество в 1 г вещества. Таким образом, ещё не видя атомов, учёные смогли узнать массу и число атомов и молекул.



Соударения хаотически движущихся молекул с броуновской частицей заставляют её двигаться

Вы можете повторить опыт Броуна самостоятельно. Для этого вам понадобится вода, немного молока и микроскоп. Добавьте в чайную ложку воды несколько капель молока. Поместите между предметными стёклами каплю полученного раствора. Под микроскопом вы сможете увидеть капельки жира, которые находятся в постоянном движении.

Броуновское движение возможно не только в жидкостях, но и в газах.

1. Что такое броуновская частица? **2.** Что представляет собой броуновское движение? **3.** Как объяснить броуновское движение?

Почему нельзя наблюдать броуновское движение чаинок в стакане чая?

[1] Гуммигут — млечный сок некоторых тропических растений.

ЗАДАНИЕ 7

- Растворите небольшой кусочек краски в воде и рассмотрите капельку полученной смеси под микроскопом. Вы увидите, что мелкие частицы краски беспрерывно перемещаются. Объясните наблюдаемое явление.

Сделайте предположение, как изменится наблюдаемая картина, если воду нагреть. Проверьте своё предположение на опыте.

§ 10 ДИФФУЗИЯ В ГАЗАХ, ЖИДКОСТЯХ И ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ

Из собственного опыта нам известно, что если в комнате появилось пахучее вещество, то через некоторое время его запах ощущается по всей комнате. Быстрое распространение запахов происходит благодаря сквознякам и ветру. А что если воздух совершенно спокойный? Оказывается, запах распространялся бы, хоть и гораздо медленнее, даже в этом случае. Причина этого — непрерывное беспорядочное движение молекул.

Проведём мысленно такой эксперимент. Возьмём сосуд, перегороженный надвое задвижкой. В одной части сосуда пусть находится воздух, в другой — пары́ иода, имеющие фиолетовый цвет. Что произойдёт, если задвижку вынуть? Мы увидим, что пары иода распространяются в часть сосуда с воздухом. Через некоторое время вещества перемешаются. Это объясняется тем, что вследствие беспорядочного движения молекул происходит взаимное проникновение молекул одного вещества между молекулами другого.

Подобное явление наблюдается не только в газах. Рассмотрим следующий опыт. Нальём в измерительный цилиндр воду примерно до половины. Затем с помощью воронки и стеклянной трубочки аккуратно нальём на дно раствор медного купороса[1].

Между водой и раствором медного купороса будет видна чёткая граница (рис. 26). Через не-

[1] Водный раствор медного купороса — жидкость голубого цвета. Её используют для борьбы с некоторыми вредителями садовых растений.

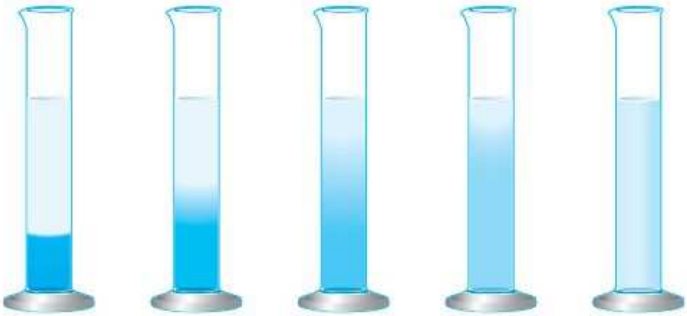


Рис. 26. Диффузия в жидкостях: взаимное проникновение воды и раствора медного купороса друг в друга

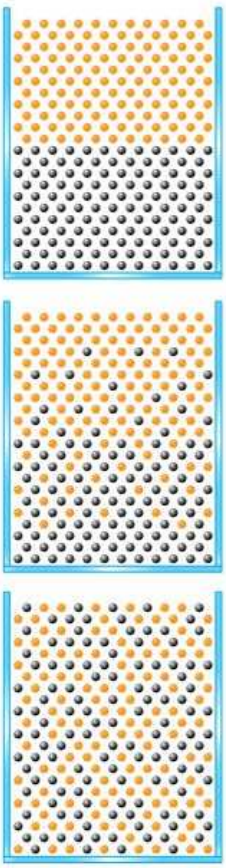


Рис. 27. Размывание границы раздела двух жидкостей при диффузии

сколько дней граница между жидкостями станет размытой. А спустя примерно месяц мы обнаружим, что границы раздела нет вовсе, жидкости перемешались.

Объясним наблюдаемое явление на основе знаний о строении вещества. Так как молекулы находятся в непрерывном беспорядочном движении, молекулы воды и медного купороса на границе раздела поменялись местами (рис. 27). С течением времени молекулы воды всё больше проникали в нижнюю часть сосуда, а молекулы медного купороса — в верхнюю. Постепенно молекулы двух жидкостей равномерно распределились по сосуду. Жидкость стала однородной.

Явление взаимного проникновения соприкасающихся веществ друг в друга, происходящее в результате беспорядочного движения молекул, называют диффузией.

Диффузия наблюдается также и в твёрдых телах, но протекает она гораздо медленнее, чем в жидкостях. Например, если хорошо отшлифовать золотую и свинцовую пластины и плотно прижать их друг к другу, то заметная диффузия в них произойдёт лишь через три года (рис. 28).

Скорость диффузии возрастает при увеличении температуры. Объяснить это можно двумя причинами: при повышении температуры увеличивается расстояние между молекулами и возрастает скорость движения молекул.

Диффузия играет исключительно важную роль в живой природе. Благодаря этому явле-

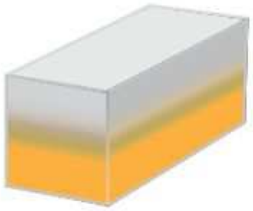


Рис. 28. Диффузия в твёрдых телах

нию происходит всасывание корнями растений питательных веществ, находящихся в почве, а также осуществляется процесс питания и дыхания через поверхность листьев. За счёт диффузии природные водоёмы и аквариумы снабжаются кислородом, который жизненно необходим их обитателям. Дыхание человека и животных и всасывание пищевых продуктов стенками кишечника также происходит благодаря диффузии.

1. Какое явление называют диффузией? **2.** Опираясь на знания о строении вещества, объясните (см. рис. 27), как происходит диффузия в жидкостях. **3.** От чего зависит скорость диффузии? **4.** Приведите примеры диффузии в природе.

Для предохранения одежды от моли используют мешочки с лавандой. Почему, когда вы вынимаете одежду из шкафа, она пахнет лавандой?

УПРАЖНЕНИЕ 3

1. Чтобы огурцы продолжительное время оставались малосольными, рассол с огурцами необходимо хранить в холодном помещении. Почему?
2. Если поместить на дно стакана крупинку краски, а затем осторожно налить в стакан воду, то через некоторое время вода приобретает окраску, хотя стакан стоял неподвижно. Объясните явление.
3. Почему цветные пятна на столе или полу значительно легче удалить сразу после того, как они туда попали, чем спустя некоторое время?

ЗАДАНИЕ 8

- На небольшой кусок стекла положите несколько крупинок сухой краски (гуаши или акварели). Зажгите свечу и капните парафином на краску. Пронаблюдайте явление. Опишите свои наблюдения. Объясните явление.

§ 11 ВЗАИМНОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ И ОТТАЛКИВАНИЕ МОЛЕКУЛ

Как вы уже знаете, все тела состоят из молекул, между которыми есть промежутки. Молекулы находятся в непрерывном беспорядочном движении. Почему же тогда жидкости и твёрдые тела не распадаются на молекулы,

а сохраняют свой объём? Из опыта известно, что многие твёрдые тела обладают большой прочностью. Трудно сломать или растянуть деревянный брусок, металлический прут, кусок камня и т. д. О чём это говорит? О том, что **молекулы, из которых состоит вещество, взаимно притягиваются**. Притяжение между молекулами различных веществ разное. Этим объясняется то, что различные вещества имеют разную прочность. Например, чтобы разорвать лист бумаги и пищевую плёнку, потребуется разное усилие.

Если между молекулами существует притяжение, то, казалось бы, два металлических бруска, плотно прижатых друг к другу, должны взаимно притягиваться. Однако этого обычно не происходит. Притяжение между брусками возникает лишь тогда, когда их соприкасающиеся поверхности достаточно хорошо отшлифованы.

Проверим это на опыте. Возьмём два свинцовых цилиндра, плотно прижмём их друг к другу. Если мы уберём руки, цилиндры разъединятся. Теперь зачистим цилиндры, сложим вместе и, слегка придавив, подвесим на штатив. Как объяснить, что эти цилиндры могут удержать достаточно тяжёлый груз (рис. 29)?



Рис. 29. Сцепление свинцовых цилиндров

Причина кроется в том, что у плохо отшлифованных цилиндров слишком мало молекул находится достаточно близко друг к другу, и поэтому притяжение цилиндров практически не наблюдается. У хорошо отшлифованных цилиндров площадь близкого контакта значительно больше и соответственно больше молекул взаимно притягиваются.

Если же два металла расплавить, что делается при сварке или при пайке, то молекулы окажутся на таком расстоянии, когда проявляется притяжение между ними. Соединение будет очень прочным.

Возможно, вы видели, как хранят стёкла, и знаете, что их перекладывают листами бу-

маги. Иначе гладкие стеклянные поверхности могут слипнуться и их трудно будет разъединить. Однако соединить осколки разбитого стакана вам не удастся. Из-за неровностей не получится приблизить молекулы на требуемое расстояние. И тогда на помощь приходит клей.

Взаимное притяжение между молекулами проявляется на расстояниях, сравнимых с их размерами.



а)



б)



в)

Различные виды соединения тел:
а — сварка;
б — пайка;
в — склеивание

Почему же притяжение между молекулами не сжимает все тела до микроскопически малых размеров? Почему даже с помощью мощного пресса сжать тела можно лишь до определённого предела? Оказывается, **между молекулами вещества существует и отталкивание.** *Отталкивание заметно проявляется на более близких расстояниях между молекулами, чем притяжение, т. е. когда расстояния между молекулами меньше размеров молекул.*

Именно одновременное действие притяжения и отталкивания удерживает молекулы твёрдых тел и жидкостей на определённом расстоянии, сравнимом с размерами молекул. При увеличении расстояния между молекулами начинает преобладать притяжение, а при уменьшении — отталкивание. Поэтому для того, чтобы изменить расстояние между молекулами, нужно прикладывать усилие.

Взаимодействуют не только молекулы одного и того же вещества. Проведём такой опыт. Подвесим на пружине с помощью нитей стеклянную пластину. Нальём в блюдце воду. Поднесём пластину к воде так, чтобы она слегка её касалась (рис. 30, *а*). Начнём медленно тянуть пружину вверх (рис. 30, *б*). Оторвать пластину от воды удастся не сразу. Растяжение пружины доказывает, что приходится прикладывать определённое усилие. Это усилие направлено на преодоление притяжения между молекулами.

Теперь посмотрим на пластину — на ней остался тонкий слой воды (рис. 30, *в*). Это

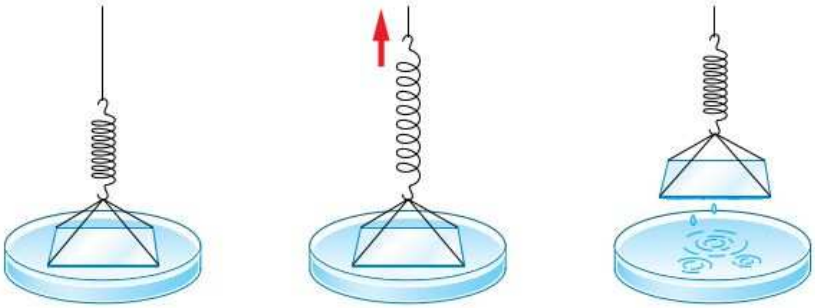


Рис. 30. Притяжение между молекулами стекла и воды

означает, что притяжение между молекулами воды и молекулами стекла больше, чем притяжение молекул воды между собой.

1. Почему тела не рассыпаются, хотя и состоят из отдельных молекул? 2. Почему, для того чтобы, например, сжать или растянуть ластик, нужно приложить усилие? 3. При каком условии заметнее проявляется отталкивание молекул; притяжение между молекулами?

Штукатурка отваливается, если между ней и кирпичной стеной попадает вода. Как это можно объяснить?

УПРАЖНЕНИЕ 4

1. Кузнец раскалил два куска железа, наложил их друг на друга и ударил молотом. Почему в результате этого куски соединились?
2. Клей позволяет прочно соединять тела. Объясните, почему это происходит.

ЗАДАНИЕ 9

- Возьмите две небольшие прямоугольные стеклянные пластины. Вымойте их и хорошо вытрите. Плотно прижмите пластины друг к другу. Разъедините их. Выполняйте все действия аккуратно, чтобы не сломать пластины и не пораниться.

  Теперь проделайте тот же опыт с влажными пластинами. В каком случае разъединить пластины было легче? Почему?

§ 12 АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Самой распространённой жидкостью на Земле является вода. Однако хорошо известно, что вода бывает не только жидкой. Так, зимой боль-



Агрегатные состояния воды

шая часть водоёмов нашей страны покрыта льдом — водой в твёрдом состоянии. В окружающем нас воздухе вода содержится в газообразном состоянии (водяной пар; как и окружающий воздух, он невидим). Не только вода, но и другие вещества в зависимости от внешних условий могут находиться в трёх ***агрегатных состояниях***: *газообразном*, *жидком* и *твёрдом*.

В разных агрегатных состояниях вещество обладает разными свойствами. Для вас не составит труда определить, в каком состоянии находится вода, когда вы наливаете её в стакан, когда достаёте из морозильной камеры кусочки льда.

Вещества в твёрдом состоянии окружают нас повсюду, и их очень легко распознать. Твёрдые тела имеют определённую форму. Чтобы изменить форму твёрдого тела, например согнуть его или разорвать, нужно приложить усилие. Помимо собственной формы твёрдые тела имеют и собственный объём — их трудно сжать или растянуть.

Твёрдые тела сохраняют свою форму и объём.



Изменение формы жидкости

Жидкости, так же как твёрдые тела, сохраняют свой объём. Если вы купили бутылку кефира объёмом 0,5 л, перелив кефир в полулитровую банку, вы можете убедиться, что его не стало ни больше, ни меньше. Но форму свою он изменил по форме сосуда.

Свойство жидкостей легко менять свою форму используется при выдувании из расплавленного стекла различных изделий (рис. 31), при отливке металлических и пластиковых деталей.

В обычных условиях только маленькие капли жидкости имеют собственную форму — форму шара. Вы можете в этом убедиться, если капнете капельку масла на блюдце.



Рис. 31. Выдувание вазы из жидкого стекла

Жидкости сохраняют свой объём, но легко меняют форму, принимая форму сосуда, в котором находятся.

Твёрдые тела и жидкости в окружающем мире вы наблюдаете повсеместно и хорошо знакомы с их свойствами. Газы же чаще всего невидимы, поэтому свойства их не так очевидны.

Докажем, что вокруг нас находится воздух — газ. Для этого перевёрнутый вверх дном стакан будем опускать в кастрюлю с водой. Полностью заполнить стакан водой таким образом не получится, так как в нём имеется воздух. А если провести опыт, показанный на рисунке 32, то можно будет увидеть пузырьки, доказывающие, что под воронкой находится воздух.

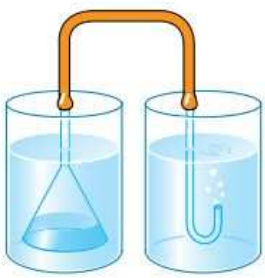


Рис. 32. Обнаружение воздуха в окружающем пространстве

Каждый из вас знает, что воздушный шарик можно сжать, изменяя тем самым объём находящегося в нём воздуха.

Газы не имеют собственной формы и объёма, они занимают весь предоставленный им объём.

В зависимости от условий одно и то же вещество может находиться в разных агрегатных состояниях. Так, вода при температуре выше 0 °С находится в жидком состоянии, при температуре ниже 0 °С — в твёрдом (лёд), при кипении интенсивно превращается в пар. В обычных условиях свинец — твёрдое вещество, а при температуре более 327 °С становится жидкостью.

Развитие астрофизики и космонавтики позволило получить данные о внеземном веществе. С помощью современных физических исследований в составе небесных тел Солнечной системы были обнаружены вещества, имеющиеся и на Земле. Причём в зависимости от условий они находятся в твёрдом, жидком или газообразном состоянии.

1. В каких агрегатных состояниях может находиться вещество? **2.** Охарактеризуйте свойства вещества, находящегося в разных агрегатных состояниях. **3.** Объясните, как проводится и что доказывает опыт, изображённый на рисунке 32.

Какие вещества мы можем наблюдать в окружающей природе и технике: а) только в твёрдом состоянии; б) только в жидком состоянии; в) только в газообразном состоянии; г) во всех трёх агрегатных состояниях; д) только в твёрдом и газообразном состоянии?

ЗАДАНИЕ 10

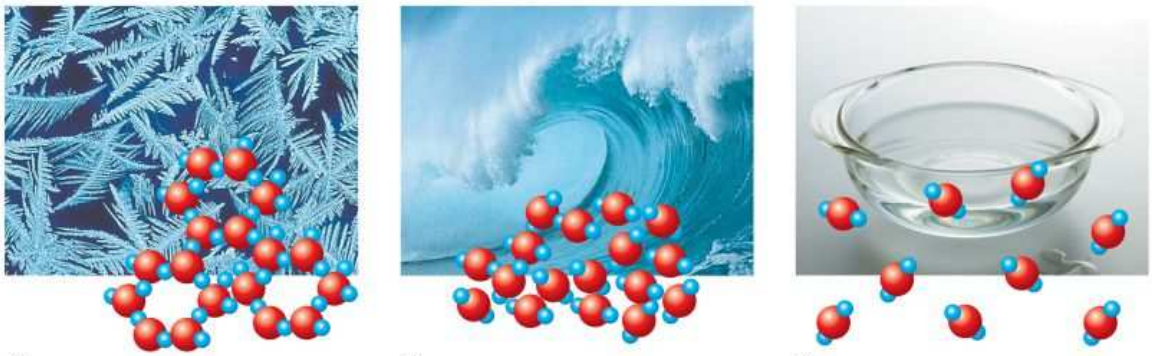
1. В пластиковую бутылку налейте немного воды, поместите её в морозильную камеру. Через несколько часов, когда вода замёрзнет, выньте бутылку. Добавьте в неё воды и закройте крышкой. Сколько и какие состояния воды вы наблюдаете?
2. Водяной пар, как и окружающий воздух, невидим. Что же представляет собой белая дымка над озером на фотографии на с. 38? Выясните это, используя Интернет.

§ 13 РАЗЛИЧИЕ В МОЛЕКУЛЯРНОМ СТРОЕНИИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Что объединяет воду, лёд и водяной пар? Вам уже известно, что это одно и то же вещество в разных агрегатных состояниях. Значит, молекулы льда, воды и водяного пара не отличаются друг от друга. Почему же вещество в этих состояниях имеет различные свойства?

Вспомним, что мы знаем о строении вещества. Вещество состоит из молекул, между которыми существуют промежутки. Молекулы находятся в беспрерывном движении. И ещё молекулы притягиваются и отталкиваются в зависимости от расстояния между ними. По всей видимости, молекулы могут находиться на разном расстоянии друг от друга (рис. 33), по-разному взаимодействовать и по-разному двигаться.

Легче всего сжимаемы газы. Это позволяет предположить, что расстояние между молекулами вещества в газообразном состоянии самое большое, намного больше размеров молекул. Так как молекулы находятся на большом расстоянии, притяжение между ними слабое. Не будучи связаны друг с другом и двигаясь беспорядочно, молекулы разлетаются по всему сосуду. Вот почему газ не имеет собственной формы и объёма, а занимает весь предоставляемый ему объём.



а) б) в)

Рис. 33. Расположение молекул воды: *а* — лёд; *б* — вода; *в* — водяной пар

Во Флоренции в XVII в. был поставлен эффектный опыт. Серебряный шар наполнили водой и запаяли. Затем по нему с силой ударили несколько раз молотом. На шаре появились светлые пятна. Это были крошечные капли воды, просочившейся сквозь стенки шара. О чём это говорит? О *малой сжимаемости жидкости*.

Молекулы жидкости находятся близко друг к другу, на расстоянии, сравнимом с размерами молекул. Из-за этого притяжение между молекулами в жидкости проявляется сильнее, чем между молекулами в газах. Молекулы уже не могут, как в газах, свободно перемещаться по всему объёму сосуда. В течение очень небольшого промежутка времени молекула колеблется около некоторого положения. Затем скачком перемещается в новое положение, отстоящее от предыдущего на расстоянии, примерно равном размеру самой молекулы. Эти перескоки молекул являются причиной того, что жидкости *текучи* и принимают форму сосуда.

Притяжение между молекулами твёрдого тела больше, чем притяжение между молекулами жидкости. Молекулы практически не передвигаются с места на место — каждая колеблется около определённой точки. Поэтому твёрдые тела сохраняют и форму, и объём.

Атомы и молекулы большинства твёрдых тел расположены в определённом порядке. Такие твёрдые тела называют ***кристаллами***.

Все вы любовались красивой формой снежинок, замысловатыми узорами на стёклах окон в зимнее время: это всё проявления кристаллического строения льда.

1. Почему одно и то же вещество может находиться в разных агрегатных состояниях? **2.** Как движутся молекулы в газах, жидкостях и твёрдых телах? **3.** В чём состоит сходство и различие свойств жидкостей и газов? Объяснение дайте на основе представлений о молекулярном строении вещества. **4.** Объясните свойства твёрдых тел с позиций молекулярного строения вещества.

В переводе с латинского *aggrego* означает «присоединяю, связываю». Подумайте, как связан данный перевод с физическим понятием «агрегатное состояние вещества».

УПРАЖНЕНИЕ 5

1. На чувствительных весах уравновесили два одинаковых стакана. Стаканы заполнили до краёв водой: один — горячей, а другой — холодной. Равновесие весов нарушилось. Объясните почему.

2*[1]. Что будет происходить с газом, если его постоянно охлаждать? Объясните своё предположение с позиций молекулярного строения вещества.

ЗАДАНИЕ 11

- Возьмите две одинаковые пластиковые бутылки. Одну наполните доверху водой, вторую оставьте пустой. Закройте бутылки крышками. Сожмите бутылки. Опишите наблюдаемые явления. Какие выводы вы можете сделать по результатам опыта?

ИТОГИ ГЛАВЫ

В этой главе мы только чуть-чуть приоткрыли тайну строения вещества. И уже стало понятно, зачем клей делают жидким, какова разница между льдом и водой. На вопросы «Из чего всё построено в этом мире? Почему оно построено именно так?» человек ищет ответы с давних времён. И чем дальше он проникает внутрь вещества, тем больше вопросов возникает. А ответы на эти вопросы становятся фундаментом для создания новых технологий. Знания о строении вещества, применённые в новейших технологиях, позволяют учёным

[1] Звёздочкой обозначены задачи повышенной сложности.

создавать искусственные материалы с удивительными свойствами. И если раньше от создания теории до практического применения могли пройти века, то современные технологии позволяют сократить этот путь до нескольких лет и даже месяцев.

ОБСУДИМ?

Прочитайте отрывки из поэмы римского поэта и философа Тита Лукреция Кара «О природе вещей», жившего в первой половине I в. до н. э. Соотнесите примеры, которые он описывает в этих отрывках, с тем, что вы знаете о строении вещества.

...Запахи мы обоняем различного рода,
Хоть и не видим совсем, как в ноздри они проникают.
Также палящей жары или холода нам не приметить
Зреньем своим никогда, да и звук увидать невозможно.
Но это всё обладает, однако, телесной природой,
Если способно оно приводить наши чувства в движенье:
Ведь осязать, как и быть осязаемым, тело лишь может.
И наконец, на морском берегу, разбивающем волны,
Платье сыреет всегда, а на солнце вися, оно сохнет;
Видеть, однако, нельзя, как влага на нём оседает,
Да и не видно того, как она исчезает от зноя...

...Капля за каплей долбит, упадая, скалу; искривлённый
Плуга железный сошник незаметно стирается в почве;
И мостовую дорог, мощённую камнями, видим
Стёртой ногами толпы; и правые руки у статуй
Бронзовых возле ворот городских постепенно худеют
От припадания к ним проходящего мимо народа.
Нам очевидно, что вещь от стиранья становится меньше,
Но отделение тел, из неё каждый миг уходящих,
Нашим глазам усмотреть запретила природа ревниво...

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Создайте модель жидкостного термометра. Объясните принцип его действия.
2. «Объясняется диффузией» (возможная форма: презентация, демонстрация опытов, компьютерная анимация).
3. «Свойства воды в твёрдом и жидком состоянии» (возможная форма: презентация, демонстрация опытов).

Глава 2

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

§ 14 МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



Рис. 34. Примеры механического движения

Движение тел — самое обыденное явление, которое мы наблюдаем постоянно: движение транспорта (рис. 34), движение капель во время дождя, движение листьев от ветра и др. Как мы определяем, что тело движется? Мы выясняем, меняется ли положение данного тела *относительно* других тел. Например, вы находитесь в автобусе. Автобус движется относительно остановки, домов, деревьев на обочине. Относительно вас он не движется, а находится в состоянии покоя.

Изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени называют механическим движением.



Относительно пассажира вагон неподвижен, а дома движутся

Движение любого тела можно рассматривать только по отношению к какому-то другому телу. Одно и то же тело движется относительно одних тел, а относительно других находится в состоянии покоя.

Например, человек, стоящий на пристани, видит, что к нему приближается корабль. А матрос на палубе видит приближающуюся пристань. Относительно человека на пристани корабль движется, а пристань неподвижна. Относительно матроса корабль неподвижен, а пристань находится в движении.

Часто в качестве тела, относительно которого рассматривается движение, мы используем

Землю или тело, неподвижное относительно Земли.

Поразмышляем над словами «тело изменяет своё положение». Это значит, что сначала тело было в одном месте, на одном расстоянии от некоторого тела, а потом оказалось в другом месте, на другом расстоянии от него. «Сначала» и «потом» — очень важные в физике, да и в жизни, слова. Они подразумевают, что все события, все изменения вокруг нас происходят во времени.

Перемещаясь в пространстве из одного места в другое, тело движется вдоль некоторой линии.

Воображаемую линию, вдоль которой двигалось тело, называют траекторией его движения.



Рис. 35. След метеора

Траектория может быть видимой, как след в небе от самолёта, след от метеора (рис. 35), след от колёс автомобиля, и невидимой, как при полёте вертолёта или птицы.

Проведите в тетради горизонтальную линию. Как двигался кончик вашей ручки? Он двигался по прямой.

Можно ли перемещать кончик ручки относительно листа тетради так, чтобы траекторией была окружность? Конечно, достаточно нарисовать её в тетради. Если вы проведёте кончиком ручки над окружностью, не касаясь листа, траекторией также будет окружность, только в этом случае траектория невидимая.

По форме траектория, как вы уже поняли, может быть прямой или кривой. И движение соответственно подразделяют на ***прямолинейное*** и ***криволинейное***. Обратим внимание на то, что форма траектории зависит от выбора тела, относительно которого рассматривается движение. Допустим, с полки движущегося вагона падает мяч по прямой вертикальной линии относительно пассажира. Совсем другой будет траектория этого мяча относительно человека, стоящего на платформе, — это будет кривая линия.



Рис. 36. Траектория движения лыжника

Траектория лыжника, прыгающего с трамплина, — плавная кривая (рис. 36). Траектория

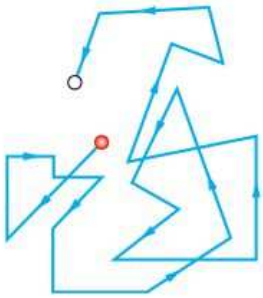


Рис. 37. Траектория движения молекулы

движения молекулы газа — ломаная линия (рис. 37). Чтобы измерить её длину, нужно сложить длины всех отрезков.

Длину траектории, по которой движется тело в течение некоторого промежутка времени, называют путём, пройденным за этот промежуток времени.

Путь — физическая величина; обозначают его буквой s (от лат. *spatium* — пространство). Единица пути в СИ — *метр* (**м**). Используют и другие единицы пути: *миллиметр* (**мм**), *сантиметр* (**см**), *дециметр* (**дм**) и *километр* (**км**).

$1\ \text{мм} = 0{,}001\ \text{м} = 10^{-3}\ \text{м}$; $1\ \text{дм} = 0{,}1\ \text{м} = 10^{-1}\ \text{м}$;

$1\ \text{см} = 0{,}01\ \text{м} = 10^{-2}\ \text{м}$; $1\ \text{км} = 1000\ \text{м} = 10^{3}\ \text{м}$.

1. Сформулируйте определение механического движения. **2.** Почему необходимо указывать, относительно каких тел движется тело? **3.** Чем отличается путь от траектории? **4.** Приведите примеры прямолинейного и криволинейного движений.

1. Из приведённых примеров выберите те, которые относятся к механическому движению: тает лёд, наступают сумерки, восходит солнце, едет машина, прошёл год, идёт телевизионный фильм, убегает заяц. Обоснуйте свой выбор.

2. Почему, когда самолёт летит на большой высоте в облаках, у пассажиров в салоне создаётся впечатление, что самолёт не движется?

3*. Почему относительно наблюдателя на платформе траектория мяча, падающего в движущемся вагоне, не является прямой вертикальной линией? Изобразите в тетради примерный вид траектории.

УПРАЖНЕНИЕ 6

1. Движется ли лёгкий воздушный шарик, уносимый ветром, относительно Земли; относительно ветра?
2. Движется ли велосипедист относительно седла?
3. Возраст человека 12 лет. Каков возраст этого человека в единицах СИ? Напомним, что каждый четвёртый год — високосный.
4. Петром I вместо локтя в обиход было введено понятие «аршин» (шаг). 1 аршин = 28 дюймов = 16 вершков = 71,12 см. Выразите: а) 30 дюймов в метрах; б) 2 аршина 16 дюймов 3 вершка в сантиметрах.
5. Самое глубокое озеро в мире — Байкал — имеет максимальную глубину 1642 м. Выразите его глубину в километрах.
6. В Интернете найдите длину двух самых длинных рек России. Определите разницу их длин и запишите её значение в единицах СИ.

ЗАДАНИЕ 12

- По дороге из школы найдите 10 тел, движущихся относительно вас, и несколько тел, которые относительно вас не движутся.

§ 15 РАВНОМЕРНОЕ И НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Представьте, что вы находитесь в поезде, движущемся на длинном ровном железнодорожном перегоне. Вы можете заметить, что километровые столбы проходят мимо окна через равные промежутки времени. Вы слышите звуки, издаваемые при ударах колёс о места соединения рельсов, также через равные промежутки времени. Движение поезда в данном случае близко к *равномерному*.

Равномерным называют движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути.

В рассмотренном примере столбы установлены на одинаковом расстоянии друг от друга, а рельсы имеют одинаковую длину.

Если мы знаем, что междугородний автобус каждый час проходит 60 км, можем ли мы считать его движение равномерным? Для ответа на вопрос о характере движения автобуса не хватает информации. Ведь автобус мог проехать за первые полчаса 40 км, а за вторые — 20 км. Тогда его движение не является равномерным. А если автобус, двигаясь по трассе, за каждый час проходил 60 км, за каждые полчаса — 30 км, за каждые 15 мин — 15 км и т. д., вплоть до самых малых промежутков времени, вот тогда он двигался равномерно.



Движение ленты транспортёра можно считать равномерным

Равномерное движение в природе встречается очень редко. Равномерно движутся в космическом пространстве тела, находящиеся вдали от небесных тел. В технике близким к равномерному является движение ленты конвейера, ступеней эскалатора и т. п.

Гораздо чаще движение бывает неравномерным. Например, поезд в начале своего дви-

жения, набирая скорость, за равные промежутки времени проходит всё большее расстояние. А перед остановкой на станции, наоборот, расстояние, которое он проходит за равные промежутки времени, всё меньше и меньше.

Движение, при котором тело за равные промежутки времени проходит разные пути, называют неравномерным.

Мы выяснили, что механическое движение по форме траектории разделяют на прямолинейное и криволинейное, по характеру движения — на равномерное и неравномерное.

1. Чем отличаются равномерное и неравномерное движение? **2.** Дайте определение равномерного движения. **3.** Приведите примеры равномерного и неравномерного движения. Обоснуйте свой выбор. **4.** За каждую секунду тело проходит 2 мм. Можно ли считать его движение равномерным?

ЗАДАНИЕ 13

- Определите характер движения шарика в жидкости. Налейте в кастрюлю 1,5 л воды, растворите в ней 8—10 столовых ложек сахарного песка. Перелейте раствор в 1,5-литровую пластиковую бутылку, заполнив её доверху. Сделайте шарик из фольги диаметром примерно 5 мм и опустите его в бутылку. Перевернув бутылку, наблюдайте за движением шарика. Измерьте с помощью секундомера мобильного телефона время движения шарика. Проделайте опыт несколько раз, чтобы научиться совмещать начало движения шарика с пуском секундомера. Для определения характера движения шарика переверните бутылку и отметьте на бутылке фломастером его положение через равные промежутки времени. Постарайтесь выбрать промежуток времени так, чтобы получилось 3—4 участка.
Указание. Опыт рекомендуется выполнять вдвоём.

§ 16 СКОРОСТЬ. ЕДИНИЦЫ СКОРОСТИ

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

Одно из основных различий движений тел состоит в том, что за одно и то же время тела могут проходить разные пути. Например, за одну секунду самолёт пролетает 300 м, поезд

проезжает 30 м, велосипедист — 15 м, пешеход проходит 1,5 м, черепаха проползает 0,02 м.

Самолёт движется быстрее поезда, поезд — быстрее велосипедиста, велосипедист — быстрее пешехода. Медленнее всех ползёт черепаха. Таким образом, движения тел можно сравнивать между собой. Более того, одно и то же тело может двигаться быстрее или медленнее. За одинаковое время (например, за 1 с) спортсмен-спринтер может пробежать расстояние до 10 м, а пройти шагом 1,5—2 м.

Величиной, характеризующей быстроту движения тела, является ***скорость***.

При равномерном движении скорость показывает, какой путь проходит тело за единицу времени.

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

Для того чтобы определить скорость тела, движущегося равномерно, нужно путь, пройденный телом, разделить на время, за которое этот путь был пройден.

Обозначим скорость буквой v (от лат. *velocitas* — скорость), путь буквой s, время буквой t (от лат. *tempus* — время).

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

Используя эти обозначения, запишем формулу для расчёта скорости равномерного движения:

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

Какова единица скорости в СИ? Как мы уже говорили, единицы физических величин в СИ бывают основные и производные. Производные единицы выражаются через основные с помощью формул, связывающих между собой физические величины. Единица скорости — производная единица.

Обратимся к формуле для расчёта скорости. Знак равенства в формуле означает, что число в левой части равенства равно результату вычислений справа и единицы измерения для обеих частей равенства одинаковы. В СИ единицей пути s является метр, единицей време-



Скорость велосипедиста на треке достигает 60 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$

ни t — секунда, поэтому единица скорости $\left(\text{отношения } \frac{s}{t}\right)$ — *метр в секунду* $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$:

$$\frac{1\ \text{м}}{1\ \text{с}} = 1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ — *это скорость такого равномерного движения, при котором тело за время* 1 с *проходит путь* 1 м.

Предположив, что самолёт, поезд, велосипедист, о которых говорилось в начале параграфа, двигались равномерно, можно сказать, что скорость самолёта — $300\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, скорость поезда — $30\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а скорость велосипедиста — $15\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Можно измерять скорость также в *метрах в минуту* $\left(\frac{\text{м}}{\text{мин}}\right)$, в *километрах в час* $\left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$ и т. п.

Пример. Автомобиль «Лада Гранта» развивает скорость $160\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а почтовый голубь — $16\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Сможет ли голубь обогнать автомобиль?

Чтобы сравнить скорости движения автомобиля и голубя, нужно выразить их в одинаковых единицах. Сделать это можно двумя способами: перевести километры в час в метры в секунду или метры в секунду перевести в километры в час. Рассмотрим оба способа.



Скорость горнолыжника при спуске может достигать 130 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$

Решение:

1. За 1 ч автомобиль проходит путь 160 км = = 160 000 м, 1 ч = 3600 с. Следовательно, за 1 с автомобиль пройдёт путь 160 000 м : 3600 = = 44 м. Таким образом,

$$160\ \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{160000\ \text{м}}{3600\ \text{с}} = 44\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: голубь не сможет обогнать автомобиль, так как $16\ \frac{\text{м}}{\text{с}} < 44\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



Скорость сокола-сапсана в пике достигает 320 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$

2. За 1 с голубь пролетает 16 м = 0,016 км, 1 с = $\frac{1}{3600}$ ч, следовательно, за 1 ч голубь пролетит путь 0,016 км · 3600 = 57,6 км. Таким образом,

$$16\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{16 \cdot \frac{1}{1000}\ \text{км}}{\frac{1}{3600}\ \text{ч}} = \frac{16 \cdot 3600\ \text{км}}{1000\ \text{ч}} = 57{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ: голубь не сможет обогнать автомобиль, так как 57,6 $\frac{\text{км}}{\text{ч}} < 160\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Обратите внимание, что **значение скорости зависит от выбора единиц.**

$$\mathbf{1\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1 \cdot \left(\frac{1}{1000}\ \text{км}\right) : \left(\frac{1}{3600}\ \text{ч}\right) = \frac{3600}{1000}\ \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 3{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}}$$

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



Современный поезд «Сапсан» развивает скорость до 250 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$

Для измерения скорости существует прибор — *спидометр* (от англ. *speed* — скорость). Многие из вас, наверное, видели его на панели приборов автомобиля. При равномерном движении показание спидометра остаётся постоянным.

Скорость, помимо числового значения, имеет направление. Вы не сможете догнать своего друга, чуть раньше вас вышедшего из школы, с какой бы скоростью вы ни бежали, если движетесь с ним в разные стороны. Величины, которые характеризуются числовым значением и направлением в пространстве, называют ***векторными*** (векторами). Скорость — *величина векторная*. Величины, которые не имеют направления, называют ***скалярными***. Время, путь, масса — величины скалярные.

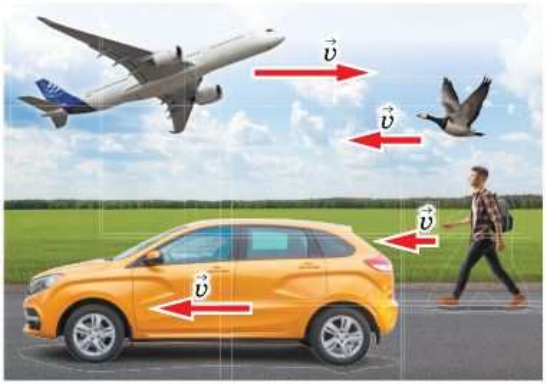


Рис. 38. Обозначение скорости на рисунках

Векторные величины обозначают соответствующими буквами со стрелкой, а на рисунках изображают направленным отрезком. Например, скорость будет обозначаться $\vec{v}$ (со стрелкой), а её числовое значение — модуль вектора скорости — v (без стрелки). На рисунках скорость тела изображается с помощью стрелки, направление которой совпадает с направлением движения тела (рис. 38). Длина стрелки в выбранном масштабе выражает модуль вектора скорости. В дальнейшем для краткости вместо «модуль вектора скорости» мы будем говорить просто «скорость».

В том случае, если движение тела является неравномерным, пройденный за одно и то же время путь будет разным на различных участках траектории, а значит, разными будут и отношения пути ко времени. Тем не менее движение в целом можно охарактеризовать, введя понятие ***средней скорости движения тела***.

$$v_{ср} = \frac{s}{t}$$

Чтобы определить среднюю скорость тела при неравномерном движении на некотором участке пути, нужно пройденный путь разделить на время прохождения этого участка пути:

$$v_{ср} = \frac{s}{t}.$$

Средняя скорость равна скорости такого равномерного движения, при котором тело прошло бы данный участок пути за тот же промежуток времени, что и при неравномерном движении. Говоря о скорости поезда или самолёта между двумя пунктами, имеют в виду среднюю скорость.

Предположим, тело преодолело путь $s = 100$ м за время $t = 20$ с. Это означает, что средняя ско-

рость тела $v_{ср} = \frac{100\text{ м}}{20\text{ с}} = 5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Характеризуя движение в целом, средняя скорость не содержит информации о его деталях. Возможно, не было ни одной секунды, за которую тело прошло бы именно 5 м. Если же мы будем знать среднюю скорость не на 100 метрах, а на каждых 10 метрах пути или даже на каждом метре, у нас будет гораздо больше информации о движении. А можно ли охарактеризовать движение не на каждом метре, а вообще в каждой точке в каждый момент времени?

Представим горнолыжника, спускающегося по трассе.

На некоторых соревнованиях зрителям сообщают не только время прохождения трассы, но и скорость лыжника в той или иной точке траектории. Комментатор сообщил: «Скорость спортсмена у пятого флажка 20 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$». Что такое скорость у пятого флажка?



Скорость лыжника при спуске непостоянна

Пусть сделана серия фотографий лыжника с интервалом времени 0,02 с. Совместив эти кадры с помощью компьютера, измерим путь, пройденный лыжником от пятого флажка за промежутки времени 0,02 с, 0,04 с и т. д. Определим среднюю скорость на каждом промежутке как отношение пути ко времени. Часть полученных результатов представлена в таблице.

t, с	0,02	0,04	0,5	1	2
s, м	0,4	0,8	10,5	22	48
$v_{ср}$, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	20	20	21	22	24

При уменьшении промежутка времени значения средней скорости всё меньше отличаются друг от друга, приближаясь к 20 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Среднюю скорость, измеренную за столь малый промежуток времени, что в течение этого времени

движение представляется для наших приборов равномерным, называют *мгновенной скоростью*. При описании неравномерного движения обычно говорят о скорости, имея в виду мгновенную скорость в данный момент времени. Именно мгновенную скорость показывает спидометр автомобиля и мгновенную скорость лыжника озвучил комментатор.

Приблизительные значения некоторых скоростей, встречающихся в природе и технике, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Скорости движения

Движущийся объект	v, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	Движущийся объект	v, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$
Улитка	0,0014	Пуля, выпущенная из пистолета (в момент вылета из ствола)	315
Ленивец	0,03	Звук в воздухе при 0 °С	332
Велосипедист	5	Луна вокруг Земли	1000
Электросамокат	До 11	Молекула водорода (при 0 °С)	1693
Дельфин-афалина	15	Молекула водорода (при 25 °С)	1770
Скворец	20	Искусственный спутник Земли	8000
Стриж	22	Земля вокруг Солнца	30 000
Самолёт Ту-204	230	Свет и радиоволны	Около 300 000 000



1. Что показывает скорость тела при равномерном движении? **2.** По какой формуле можно рассчитать скорость тела, если заданы путь и время, за которое он пройден? **3.** Какова единица скорости в СИ? **4.** Скорость — величина векторная. Что это значит? **5.** По какой формуле определяют среднюю скорость тела при неравномерном движении? **6.** Какую скорость имеют в виду, говоря о скорости автомобиля между двумя пунктами; скорости пули в момент вылета из ствола?



Используя формулу для расчёта $v_{ср}$, докажите, что единица средней скорости в СИ — метр в секунду.

УПРАЖНЕНИЕ 7

1. Лыжник съезжает с горы. В конце спуска его скорость в 2 раза больше, чем в середине горы. Сделайте рисунок в тетради (схематически), на котором изобразите скорости лыжника в обоих положениях.
2. Предложите единицы скорости, не указанные в параграфе.
3. Выразите скорости 72 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и 18 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ в единицах СИ.
4. Выразите в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ скорость, которую развивает дельфин-афалина.
5. Скорость, с которой бежит сурок, равна 12 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Максимально возможная скорость волка 45 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Может ли волк догнать сурка?
6. С какой скоростью плыл лосось, если за 5 с он проплыл 30 м?
7. Скоростной поезд за 10 мин проходит путь, равный 40 км. Определите его среднюю скорость.

8*. Автобус проходит расстояние 30 км между двумя посёлками со скоростью 60 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. В обратном направлении этот путь он проходит со скоростью 50 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Найдите среднюю скорость автобуса за всё время движения.

ЗАДАНИЕ 14

1. Придумайте несколько задач, используя данные таблицы 2. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.
2. Определите скорость движения шарика из фольги в жидкости. Сделайте вывод о характере движения.

§ 17 РАСЧЁТ ПУТИ И ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ

Обычно люди, собираясь в короткие поездки или дальние путешествия, составляют план своего передвижения. Как правило, на каждой дороге указана максимальная скорость, с которой по ней может двигаться автомобиль. Если вы собираетесь ехать на поезде или лететь на самолёте, то их скорости тоже известны. В поездке людям важно знать, сколько времени необходимо, чтобы добраться до какого-либо места, и какое расстояние им нужно проехать до

промежуточного пункта, например для остановки на отдых или пересадки.

Для того чтобы ответить на все эти вопросы, следует знать, каким образом можно найти путь и время при равномерном и неравномерном движении.

Определим, на каком расстоянии от Москвы будет находиться автомобиль, движущийся с постоянной скоростью 70 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ по Симферопольскому шоссе, через 5 ч. Для этого нам достаточно определить путь, который пройдёт автомобиль.

Что означает выражение: «Скорость автомобиля 70 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$»? Оно означает, что если спидометр всё время будет показывать такую скорость, то машина за 1 ч пройдёт путь 70 км, за 2 ч — 140 км, за 3 ч — 210 км. Значит, *чтобы определить путь, нужно скорость движения автомобиля умножить на время его движения*:

$s = vt$

путь = скорость · время.

$$s = vt.$$



Рассчитать примерное время прибытия в пункт назначения можно, если известны скорость и расстояние до него

Вернёмся к задаче. Запишем кратко её условие и решение.

Дано:	**Решение:**
$v = 70\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$	Путь, пройденный автомобилем,
$t = 5$ ч	$s = vt$,
s — ?	$s = 70\ \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 5$ ч $= 350$ км.

Ответ: автомобиль можно будет обнаружить на расстоянии 350 км от Москвы, т. е. в окрестностях Орла.

Итак, зная скорость тела при равномерном движении, можно предсказать, в какой точке траектории будет находиться тело через определённое время, вычислив его путь.

Из формулы для расчёта пути видно, что путь s прямо пропорционален времени t: во сколько раз увеличится время движения тела, во столько же возрастёт пройденный путь.

Вычислить время движения можно, если известны пройденный путь и скорость движения тела:

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

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

Чтобы определить время при равномерном движении тела, нужно путь, пройденный телом, разделить на скорость его движения.

Если тело движется неравномерно, то найти путь, пройденный телом, можно, если известны средняя скорость его движения и время движения:

$$s = v_{ср}t.$$

Из формулы для расчёта пути можно получить формулу для определения времени при неравномерном движении:

$$t = \frac{s}{v_{ср}}.$$

При описании движения мы использовали слова, формулы, таблицы. Ещё одним способом описания движения являются графики.

Вернёмся к примеру с автомобилем, движущимся из Москвы в Орёл. Положение машины на траектории в любой момент времени можно определить, используя формулу

$$s = vt$$

или по таблице.

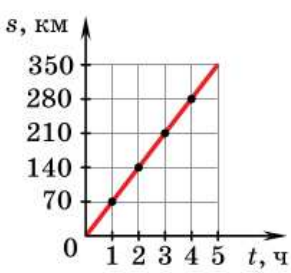


Рис. 39. График зависимости пути от времени для равномерного движения

t, ч	0	1	2	3	4	5
s, км	0	70	140	210	280	350

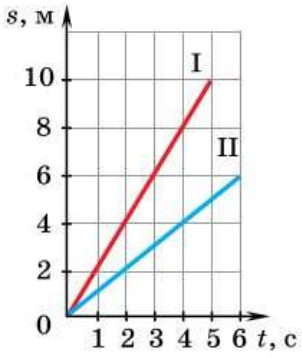


Рис. 40. График I соответствует телу, движущемуся с большей скоростью: $v_I > v_{II}$

А можно построить график движения машины и определить её положение в любой момент времени по графику. Для построения графика выберем прямоугольную систему координат. По оси абсцисс будем откладывать время (t, ч), по оси ординат — путь (s, км). Пользуясь таблицей, отметим точки на графике (рис. 39).

Видим, что все точки лежат на одной прямой. Это и есть *график зависимости пути от времени* для автомобиля, движущегося равномерно.

Используя график, можно определить, какой путь прошёл автомобиль за некоторое время. Найдём путь автомобиля за 4 ч после начала движения. Для этого из точки «4 ч» на оси времени восставим перпендикуляр до пересечения с графиком. Из полученной точки опустим перпендикуляр на ось пути (s) и сделаем отсчёт. Получаем 280 км.

С помощью графиков легко сравнивать движение тел. На рисунке 40 приведены графики зависимости пути от времени для двух тел. По оси абсцисс отложено время в секундах, а по оси ординат — путь в метрах. Из графиков видно, что за 2 с тело I прошло 4 м, тело II — 2 м. Следовательно, скорость первого тела больше скорости второго. На рисунке мы видим, что угол между графиком I и осью абсцисс больше, чем угол наклона графика II. Значит, график движения с бóльшим углом наклона к оси абсцисс соответствует движению с большей скоростью.

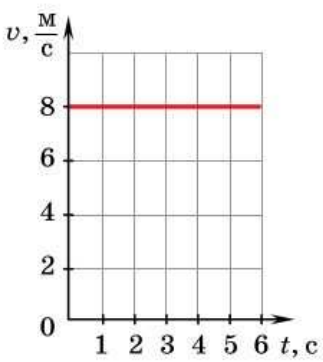


Рис. 41. График зависимости скорости от времени для равномерного движения

Графически можно представить и зависимость скорости тела от времени. При равномерном движении скорость с течением времени не изменяется, поэтому график зависимости скорости от времени в этом случае представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс (рис. 41).

1. По какой формуле можно определить путь при движении тела: а) равномерном; б) неравномерном? **2.** По какой формуле можно определить время движения тела: а) при равномерном движении;

б) при неравномерном движении? **3.** Почему для определения скорости тела при равномерном движении по графику зависимости пути от времени можно выбрать любую точку графика?

Решая задачу на движение, Иван воспользовался тем, что пройденный путь прямо пропорционален времени, а Гоша, решая другую задачу, — тем, что путь прямо пропорционален скорости. Предложите условия задач, которые могли решать ребята.

УПРАЖНЕНИЕ 8

1. Какой путь проползёт улитка по стволу дерева за 5 мин, если её скорость 1,4 $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$?

2. Средняя скорость роста дуба 0,3 м в год. Сколько лет дереву высотой 6 м?

3. Постройте графики зависимости пути от времени для тел, одно из которых движется с постоянной скоростью $v_1 = 7\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а второе — со скоростью $v_2 = 3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

4. На рисунке 42 приведён график зависимости пройденного пути от времени для равномерно движущегося тела. По этому графику найдите путь, пройденный телом за 2 ч. Рассчитайте скорость тела.

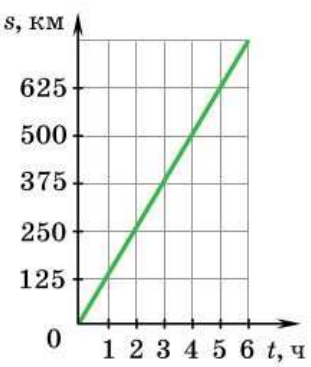


Рис. 42

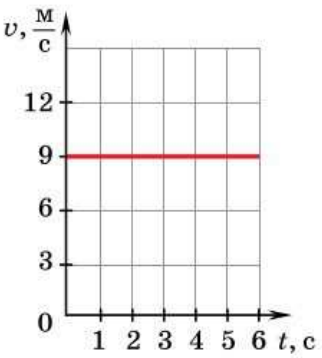


Рис. 43

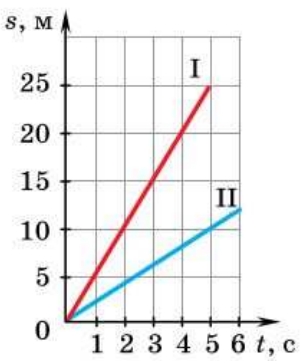


Рис. 44

5. По графику зависимости скорости равномерно движущегося тела от времени (рис. 43) определите скорость тела и путь, который оно пройдёт за 3 с; 7 с.

6. По графикам зависимости пути от времени (рис. 44) двух тел, движущихся равномерно, определите, скорость какого тела больше. Проверьте себя, рассчитав скорости этих тел.

7*. Первую половину пути из Москвы в Подольск автомобиль ехал со скоростью $v_1 = 90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Оставшийся путь $s = 20$ км из-за поломки при-

шлось ехать со скоростью $v_2 = 10\ \frac{км}{ч}$. Сколько времени двигался автомобиль до Подольска? С какой постоянной скоростью должен двигаться велосипедист, чтобы преодолеть это расстояние за то же время, что и автомобиль?

8*. Представьте ответ на последний вопрос предыдущей задачи в виде формулы (решите задачу в общем виде).

ЗАДАНИЕ 15

- Сравните время поездки от Москвы до Санкт-Петербурга на перекладных, на первом поезде Николаевской железной дороги и на «Сапсане». Необходимую информацию найдите в Интернете.

§ 18 ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ. УСКОРЕНИЕ

Как вам уже известно, при неравномерном движении тела его скорость изменяется. В различных случаях неравномерного движения она изменяется по-разному. При взлёте ракеты её скорость растёт сначала медленно, а потом всё быстрее. При затяжном парашютном прыжке, напротив, скорость парашютиста растёт сначала быстро, а потом всё медленнее.

В курсе 7 класса вы познакомитесь с наиболее простым видом неравномерного движения — *прямолинейным равноускоренным движением*.

Прямолинейное равноускоренное движение — это прямолинейное движение тела, при котором его скорость за любые равные промежутки времени изменяется одинаково.

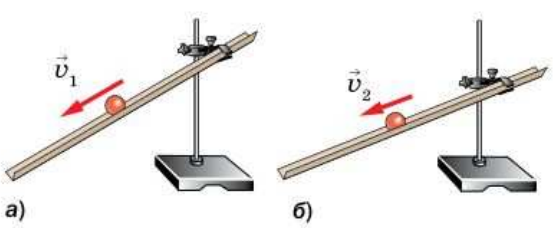


Рис. 45. Изменение скорости шарика зависит от угла наклона поверхности

Опыты показывают, что движение стального шарика, скатывающегося по наклонной плоскости или падающего в комнате, близко к прямолинейному равноускоренному.

Возьмём шарик и заставим его скатываться с одной горки (рис. 45, *а*), а затем с другой, на-

клон которой меньше (рис. 45, *б*). Как описать изменение скорости?

Допустим, скорость шарика в первом случае вначале равнялась нулю, а через 2 с стала равна 8 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Значит, за 1 с скорость увеличивалась на 4 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Пусть скорость шарика во втором опыте вначале тоже равнялась нулю, а через 3 с стала равна 9 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Следовательно, за 1 с скорость увеличивалась на 3 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Можно сказать, что скорость в первом случае менялась быстрее, чем во втором, или что ускорение шарика в первом случае больше, чем во втором.

Для характеристики быстроты изменения скорости вводят физическую величину — ***ускорение***.

Ускорением тела при его прямолинейном равноускоренном движении называют физическую величину, равную отношению изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло.

Ускорение обозначают буквой a (от лат. *acceleratio* — ускорение). Запишем формулу для вычисления ускорения:

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

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

где v_0 — начальная скорость тела, v — скорость тела через промежуток времени t.

Ускорение показывает, на какую величину изменяется скорость за единицу времени.

Единица ускорения в СИ — *метр на секунду в квадрате* $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$.

Учитывая обозначение ускорения, можно записать, что ускорение шарика в первом опыте равно $a_1 = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, а во втором — $a_2 = 3\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

$v = v_0 + at$

Зная ускорение, можно определить скорость при прямолинейном равноускоренном движении в любой момент времени по формуле:

$$v = v_0 + at.$$



Ускорение при движении санок на наклонном участке положительное, а на горизонтальном — отрицательное

Если скорость тела при прямолинейном движении увеличивается, то ускорение положительно, так как $(v - v_0) > 0$.

Пусть, например, автомобиль, двигаясь прямолинейно равноускоренно, за время $t = 30$ с увеличил скорость от $v_0 = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ до $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Тогда его ускорение $a = \frac{(20 - 5) \frac{\text{м}}{\text{с}}}{30 \text{ с}} = 0{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Ускорение $0{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ показывает, что скорость увеличивается за 1 с на $0{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через 1 с она будет равна $5{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а через 2 с — $6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и т. д.

Если же скорость движения тела уменьшается, то ускорение будет отрицательным, так как $(v - v_0) < 0$. Например, в конце горки санки двигались со скоростью $6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, на горизонтальном участке они начали тормозить и через 3 с остановились. Таким образом, за 3 с скорость санок уменьшилась на $6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Значит, за каждую секунду скорость уменьшалась на $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Ускорение в данном случае равно $-2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, знак «–» показывает, что скорость уменьшается.

Ускорение, как и скорость, является *векторной величиной*. Об этом мы будем говорить подробно в 9 классе. Если тело движется прямолинейно равноускоренно и его скорость увеличивается, то это значит, что ускорение направлено в ту же сторону, что и скорость. При прямолинейном равноускоренном движении с уменьшающейся скоростью ускорение направлено противоположно скорости.



1. Что характеризует ускорение? **2.** В каких единицах измеряется ускорение? **3.** По какой формуле можно определить скорость при прямолинейном равноускоренном движении? **4.** В каком случае ускорение тела положительно; отрицательно?



1. Докажите, что единицей ускорения в СИ является $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

2. Собака бежит по прямой и за каждую секунду пробегает 4 м. Докажите, что данное движение не является равноускоренным.

3*. Можно ли сказать, что при равноускоренном движении скорость тела прямо пропорциональна его ускорению?



УПРАЖНЕНИЕ 9

1. С каким ускорением разгоняется автомобиль, если он за 5 с увеличивает свою скорость от 5 до 20 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$?

2. Разгоняясь из состояния покоя, велосипедист за 11 с развил скорость 22 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите ускорение велосипедиста. Постройте график зависимости ускорения от времени $a(t)$, считая движение равноускоренным.

3. Автомобиль начал двигаться от светофора, и через 5 с его скорость стала 10 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. С каким ускорением двигался автомобиль, если его движение прямолинейное равноускоренное? Постройте график зависимости скорости автомобиля от времени $v(t)$.

4. Автомобиль, движущийся прямолинейно со скоростью 10 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, начинает разгоняться с ускорением 2 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Какой станет его скорость через 5 с?

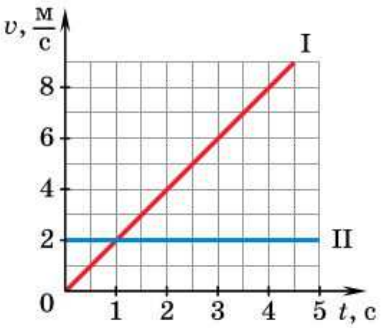


Рис. 46

5. По графикам зависимости скорости от времени, приведённым на рисунке 46, определите для каждого тела: характер движения; ускорение, с которым движется тело.

6. Мотоциклист движется с постоянным ускорением 2 $\frac{м}{с^2}$. За какое время его скорость изменится от 15 до 20 $\frac{м}{с}$?

§ 19 ИНЕРЦИЯ



Причина изменения скорости шайбы — действие на неё клюшки

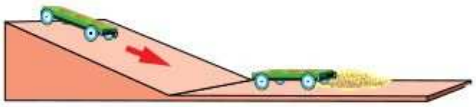
Представьте, что вы присутствуете на хоккейном матче. В пустые ворота команды, за которую вы болеете, летит шайба. Тысячи болельщиков хотят, чтобы шайба изменила направление скорости. Но никакие мысленные усилия не заставят её это сделать. Что же может изменить направление скорости шайбы? Ответ очевиден: клюшка игрока или неровности на льду (бугорок или ямка).

Бильярдный шар будет лежать на столе неподвижно, пока его не сдвинет кий или движущийся шар.

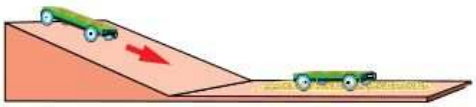
Ни шайба, ни шар не изменят свою скорость, пока на них не подействует какое-нибудь тело. Скользящая шайба останавливается из-за трения о лёд. Бильярдный шар поменяет направление движения, стукнувшись о бортик стола.

Для того чтобы тело изменило скорость относительно поверхности Земли, на него должно подействовать другое тело, т. е. *причиной изменения скорости тела является действие на него другого тела*.

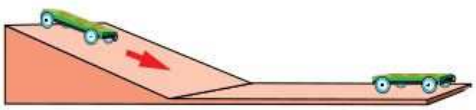
Проделаем опыт. Пустим тележку по наклонной плоскости. Если на её пути насыпать горку песка, то тележка быстро остановится (рис. 47, *а*). Её движение, совершенно очевидно, неравномерное.



а)



б)



в)

Рис. 47. Изменение скорости движения тела

Разровняем песок и снова заставим тележку скатываться с прежней высоты. Тележка будет двигаться до остановки дольше и пройдёт большее расстояние, чем в первом случае (рис. 47, *б*). Скорость её уменьшается не так быстро.

Если же песок убрать совсем, то по гладкой поверхности тележка проедет ещё дальше (рис. 47, *в*). Песок и поверхность стола в разной степени действовали на тележку, уменьшали её скорость.

А как бы двигалась тележка, если бы горизонтальная поверхность была настолько гладкая, что трения бы не было совсем? Первым на этот вопрос ответил Галилей. Он пришёл к выводу, названному позднее ***законом инерции***: *если на тело не действуют другие тела, то оно движется равномерно и прямолинейно, или покоится.*

Явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел называют инерцией.

В случаях, когда тело движется при отсутствии действия на него других тел, говорят, что оно *движется по инерции* (от лат. *inertia* — неподвижность, бездеятельность).

Толкнём брусок по столу так, чтобы он переместился на некоторое расстояние. Опишем его движение относительно стола. До толчка скорость бруска была равна нулю. Во время толчка брусок приобрёл некоторую скорость. Причиной изменения скорости бруска в начале движения было действие руки. Почему брусок остановился? Какое тело подействовало на брусок? На него действовала поверхность стола. Обратите внимание на то, что брусок остановился не сразу.

Даже если на тело действуют другие тела, для изменения его скорости требуется некоторое время.

Почему шофёр не может мгновенно остановить автомобиль, увидев перед собой внезапно выскочившего на дорогу ученика? Действие покрытия дороги на автомобиль не может быстро изменить его скорость, а в гололёд это действие ещё меньше.

1. Как можно изменить скорость тела? Приведите примеры. **2.** При каком условии тело движется равномерно и прямолинейно? **3.** Что такое инерция? Приведите примеры. **4.** На тело не действуют другие тела. Как движется тело относительно Земли?

Какие признаки позволяют определить, движется ли тело по инерции?

УПРАЖНЕНИЕ 10

1. Вы едете в автобусе. Внезапно вас отклонило вправо. Что можно сказать о характере движения автобуса?
2. Почему пассажир в автобусе при резком торможении падает вперёд?
3*. Как правильно буксировать автомобиль с неисправными тормозами — с помощью гибкого троса или на жёсткой сцепке? Почему?

ЗАДАНИЕ 16

- На лист бумаги близко к краю поставьте стопку из трёх шашек. Резко выдерните лист бумаги. Почему стопка шашек не рассыпалась?

§ 20 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

Как вы уже знаете, чтобы изменить скорость тела относительно поверхности Земли, на него должно подействовать другое тело. Продемонстрируем это на опыте. Возьмём тележку, к которой прикрепим металлическую пластину. Согнём пластину и зафиксируем нитью

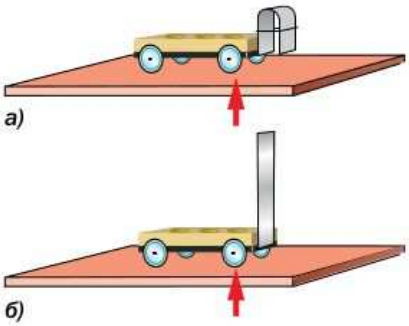


Рис. 48. Скорость тележки в отсутствие взаимодействия не изменяется

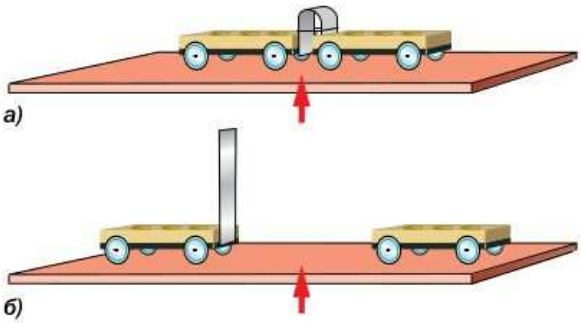


Рис. 49. Изменение скорости движения тележек при взаимодействии

(рис. 48, *а*). Пережжём нить. Пластина выпрямилась, а тележка осталась на месте (рис. 48, *б*).

Снова согнём пластину и зафиксируем её нитью. Вплотную к пластине поставим вторую тележку (рис. 49, *а*). Пережжём нить. Пластина выпрямилась и оттолкнула вторую тележку. Но и первая тележка не осталась на месте, она пришла в движение относительно стола (рис. 49, *б*). Тележки разъехались в разные стороны.

Опыт подтвердил, что для изменения скорости тела необходимо подействовать на него другим телом. В нашем случае, для того чтобы изменить скорость тележки (привести её в движение), понадобилась вторая тележка. Так как в движение пришли обе тележки, значит, они подействовали друг на друга. Таким образом, действие тела на другое тело не может быть односторонним. Оба тела действуют друг на друга, происходит ***взаимодействие***.

Примеров изменения скорости в результате взаимодействия можно привести очень много. Самый очевидный пример взаимодействия — это столкновение тел. Пустите два шара навстречу друг другу. Если у вас получится сделать так, чтобы шары столкнулись друг с другом, то оба шара изменят свою скорость.

Шарик в пружинном пистолете находится в покое относительно пистолета. При выстреле



Рис. 50. Взаимодействие человека и лодки

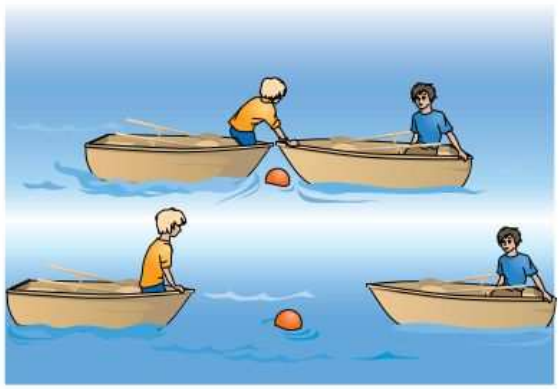


Рис. 51. Изменение скорости лодок в результате взаимодействия

шарик и пистолет движутся в разные стороны с разными скоростями. Движение пистолета в этом случае называют *отдачей*.

Своеобразную отдачу ощущал каждый, кто выпрыгивал из лодки на берег (рис. 50). Если человек выходит из лодки, лодка отплывает в противоположную сторону. И если вы не выпрыгнете из лодки быстро, есть вероятность попасть в воду, так как лодка (особенно если она лёгкая) отплывёт от берега. Вы сообщаете лодке скорость, направленную от берега, а лодка вам — скорость, направленную к берегу.

Если вы на озере, сидя в лодке, оттолкнётесь от лодки, в которой сидит ваш товарищ, то обе лодки придут в движение (рис. 51). Скорости тел в этом случае будут направлены в противоположные стороны.

Итак, скорости тел могут изменяться только в результате их взаимодействия. При этом часто получается, что скорость одного из взаимодействующих тел изменяется больше, чем скорость другого.

1. Как экспериментально доказать, что тела приходят в движение при взаимодействии с другими телами? **2.** Верно ли утверждение, что при взаимодействии меняются скорости обоих тел? Ответ обоснуйте. **3.** Опишите явление взаимодействия тел на примере выстрела из арбалета.

§ 21 МАССА ТЕЛА. ЕДИНИЦЫ МАССЫ

В предыдущем параграфе мы узнали, что тела меняют скорость в результате взаимодействия. От чего зависит, как изменится скорость разных тел при взаимодействии? Повторим опыт, описанный в § 20, только на одну из тележек поставим груз (рис. 52, *а*). После того как нить пережгли, тележки приходят в движение. Если зафиксировать положение тележек после их остановки, мы увидим, что они прошли разный путь (рис. 52, *б*). Это значит, что после пережигания нити тележки разъехались с разными скоростями. Тележка без груза прошла больший путь, следовательно, в результате взаимодействия она приобрела бóльшую скорость, чем нагруженная тележка.

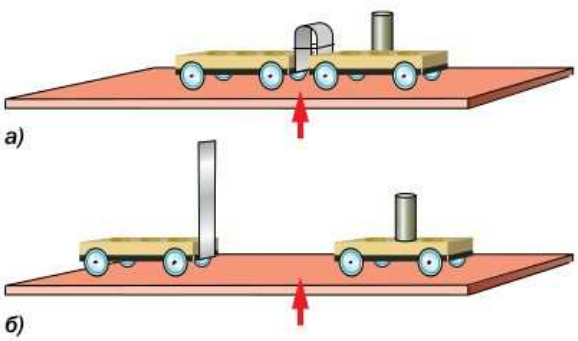


Рис. 52. Изменение скорости движения тележек в зависимости от их массы

Возьмите два одинаковых школьных рюкзака. Переложите все тетради и книги, кроме одного учебника, в один из них. Пусть один из вас держит в каждой руке по рюкзаку, а другой толкнёт руками каждый рюкзак в горизонтальном направлении. Вы заметили, что полный рюкзак труднее вывести из состояния покоя, чем пустой?

Другой пример, на полу спортивного зала лежат два внешне одинаковых мяча: баскетбольный и медбол (утяжелитель в форме мяча). Мальчик, выполняя задание учителя, ударил по одному из них. Можете ли вы, наблюдая издали, определить, по какому мячу ударил мальчик?

Чем же отличаются друг от друга полный и пустой рюкзаки, баскетбольный мяч и медбол? Вы знакомы с такими свойствами тел, как объём, цвет, форма. Но с помощью этих свойств нельзя описать отличие перечисленных выше тел, проявившееся в наблюдаемых опытах и явлениях.



Способ насаживания молотка на рукоятку

Разные тела по-разному изменяют свою скорость при одном и том же воздействии на них. Говорят, что тела обладают разной ***инертностью***. Под инертностью понимают *свойство тела препятствовать изменению своей скорости при внешнем воздействии*. Из-за инертности тела не могут изменить свою скорость мгновенно, для изменения скорости требуется некоторое время.

Чем более инертно тело, тем труднее изменить его скорость. То тело из двух, скорость которого за время взаимодействия изменилась больше, менее инертно. Для количественной оценки инертности тел вводят физическую величину ***масса***.

Масса — это физическая величина, которая является мерой инертности тела.

Коробка с песком обладает большей массой, чем коробка без песка; рюкзак с книгами имеет бóльшую массу, чем пустой. Масса тележки с грузом больше, чем ненагруженной.

Из двух взаимодействующих тел масса больше у того тела, которое меньше изменяет свою скорость.

Приобретённые тележками скорости можно измерить. Если в опыте с тележками менять металлические пластинки, скорости тележек будут меняться. При этом отношение скоростей для двух данных изначально покоящихся тележек будет оставаться постоянным. Оно равно обратному отношению их масс.

Пусть в ходе взаимодействия тележки приобрели скорости 2 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ и 6 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Скорость 2 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ приобрела тележка большей массы. Скорость 6 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ приобрела тележка меньшей массы. Так как скорости тележек различаются в 3 раза, в 3 раза различаются и их массы. То есть масса более лёгкой тележки в 3 раза меньше массы тяжёлой.

Если же после взаимодействия скорости изначально покоящихся тел оказались одинаковыми, значит, и массы этих тел равны.

Именно по взаимодействию, хоть и на расстоянии, определяют массы небесных тел: планет, Луны, Солнца и др.

Массой обладают любые тела: молекулы и атомы, ручки и тетради, наша Земля и самые далёкие планеты.

Массу обозначают буквой m (от лат. *massa* — ком, кусок).

За единицу массы в СИ принят *килограмм* **(кг)**.

На практике используют и другие единицы массы: *миллиграмм* **(мг)**, *грамм* **(г)**, *тонна* **(т)**.

$1\ мг = 10^{-3}\ г$
$1\ кг = 10^{3}\ г$
$1\ кг = 10^{6}\ мг$
$1\ кг = 10^{-3}\ т$

$$1\ мг = 0{,}000001\ кг = 10^{-6}\ кг;$$
$$1\ г = 0{,}001\ кг = 10^{-3}\ кг;$$
$$1\ т = 1000\ кг = 10^{3}\ кг.$$

Массой 1 кг обладает вода объёмом примерно 1 л. Чайная ложка соли имеет массу примерно 10 г.

1. Что такое инертность? Какая физическая величина её характеризует? **2.** Опишите опыт, позволяющий сравнить массы двух тел. Можно ли подобным образом определить массу тела? **3.** Какие единицы массы, помимо килограмма, вам известны?

Два мальчика на коньках хотят выяснить, у кого из них больше масса. Как они могут это сделать?

УПРАЖНЕНИЕ 11

1. Запишите физические тела в порядке уменьшения их инертности: Луна, Солнце, баскетбольный мяч, автомобиль, волан для бадминтона, песчинка.
2. Выразите в килограммах массы тел: 4 т; 0,35 т; 200 г; 50 г; 20 мг.
3. В двух неподвижных резиновых лодках находятся мальчики. Масса первой лодки с мальчиком составляет 60 кг, второй — 75 кг. После того как мальчик в первой лодке оттолкнул от себя вторую лодку, его лодка приобрела скорость, равную $1{,}2\ \frac{м}{с}$. Какую скорость приобрела вторая лодка?
4. Пуля вылетает из винтовки со скоростью $700\ \frac{м}{с}$. Определите скорость винтовки при отдаче, если масса пули 9 г, а винтовки — 4,5 кг.
5. Объясните способ насаживания молотка на рукоятку, изображённый на рисунке на с. 70.

§ 22 ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА НА ВЕСАХ

Измерить массу тела можно разными способами. Взаимодействие двух тел позволяет сравнивать их массы. Если при взаимодействии скорости тел изменяются одинаково, то массы тел равны. Если массы взаимодействующих тел разные, зная массу одного, можно вычислить массу другого из соотношения

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1},$$

где Δv_1 и Δv_2 — изменение скоростей первого и второго тела[1].

Измерять массу тел через взаимодействие на практике очень неудобно. Существует прибор, с помощью которого измеряют массу тел, — *весы*. В зависимости от целей измерений бывают учебные, бытовые, медицинские, вагонные и другие весы. По конструкции весы разделяют на рычажные, пружинные, электронные.

На весах проводится сравнение массы тела с массой гирь или другого тела. Самые простые учебные (рычажные) весы представляют собой *коромысло 1* — стержень, который может свободно поворачиваться вокруг оси (рис. 53). К концам коромысла подвешены *чаши 3*, на которых размещаются взвешиваемое тело и тело известной массы (гиря). Равновесие весов определяется по *стрелке-указателю 2*, которая может отклоняться вправо-влево. При равновесии весов расположение стрелки-указателя должно быть вертикальным.



Рис. 53. Рычажные весы

Поместим на чаши весов две тележки, имеющие одинаковые массы (это можно установить через взаимодействие — тележки проходят

[1] Греческой буквой Δ («дельта») принято обозначать изменение (разность конечного и начального значений) той физической величины, перед символом которой эта буква ставится.

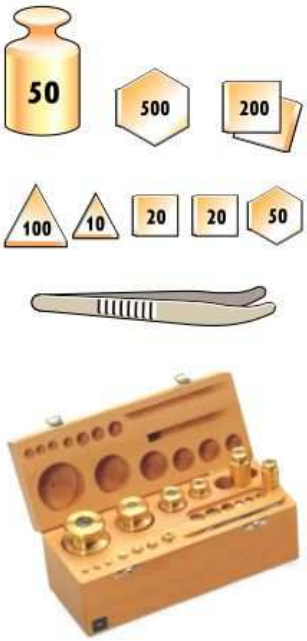


Рис. 54. Набор разновесов

равные пути, т. е. приобретают одинаковые скорости). Опыт показывает, что весы будут находиться в равновесии. Таким образом, *при равновесии весов массы тел, находящихся на их чашах, равны друг другу*. На этом и основано определение массы тела при помощи весов.

Поместим на одну чашу весов тело, массу которого требуется узнать. На другую чашу будем ставить гири известной массы — разновесы (рис. 54) — до тех пор, пока весы не окажутся в равновесии. Для определения массы тела необходимо найти сумму масс всех разновесов на чаше весов.

При определении массы тела с помощью рычажных весов используется свойство *аддитивности массы*. Это свойство заключается в том, что масса тела равна сумме масс частей, его составляющих. Свойство аддитивности массы вам хорошо знакомо из практики: складывая в пакет упаковку риса массой 1 кг и пачку сахара массой 0,5 кг, вы точно знаете, что масса покупки 1,5 кг.

1. Какие способы определения массы вам известны? **2.** Сформулируйте условие равновесия рычажных весов. **3.** Как определить массу тела при помощи весов? Как в этом проявляется свойство аддитивности массы? **4.** Какова масса 20 двухсотграммовых кусков мыла?

Составьте правила проведения измерений на рычажных весах.

ЗАДАНИЕ 17

1. Изготовьте устройство для сравнения масс тел (весы). Гирьки достоинством 1 г, 2 г и т. д. изготовьте из проволоки. Массу куска проволоки определите по массе воды, учитывая, что 1 мл воды имеет массу 1 г. Измерив массу проволоки, посчитайте, куску проволоки какой длины соответствует масса 1 г и т. д. Миллиграммовые пластинки сделайте из бумаги. Предварительно измерьте массу листа бумаги и посчитайте, на сколько кусков нужно его разрезать, чтобы получить пластинки нужной массы.

2. Определите массу столовой ложки сахарного песка; чайной ложки соли.

Эталон килограмма

Как вы знаете, любое измерение заключается в сравнении измеряемой величины с другой, однородной с ней величиной, принятой за единицу. Средство измерений (образец или измерительная аппаратура), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины, называют *эталоном*.

Развитие науки и техники требует непрерывного повышения точности измерений, что приводит к смене эталонов. Все современные эталоны (килограмма, метра, секунды и некоторые другие) основаны не на искусственно созданных объектах, а на физических явлениях, доступных для воспроизведения во многих лабораториях. Но так было не всегда.



Платиново-иридиевый прототип № 26

На протяжении 130 лет (начиная с 1889 г.) эталоном килограмма служил цилиндр, отлитый из сплава платины и иридия. Этот цилиндр хранится в Международном бюро мер и весов в Севре, около Парижа, под герметичными колпаками. Согласно определению, принятому в 1889 г., килограмм — это масса данного эталонного цилиндра.

С эталона были сняты копии, которые разошлись по разным странам. Две копии, платиново-иридиевые прототипы № 12 и № 26, были переданы России. Они хранятся во ВНИИ метрологии им. Д. И. Менделеева в Санкт-Петербурге.

За время, прошедшее с изготовления международного эталона, его несколько раз сравнивали с копиями. Проверки показали изменение массы копий относительно эталона в среднем на 50 мкг за 100 лет. Для современной науки с растущими требованиями к точности измерений такое расхождение является существенным. Учёные понимали, что от подверженного изменениям платино-во-иридиевого эталона необходимо отказаться.

В 2018 г. 26-я Генеральная конференция по мерам и весам одобрила новое определение килограмма через значение величины, называемой постоянной Планка (с ней вы познакомитесь при дальнейшем изучении курса физики). Решение вступило в силу 20 мая 2019 г. во Всемирный день метрологии. Воспроизвести килограмм позволяет сложная и точная установка, в которой чашу с грузом уравновешивает электромагнитная сила, рассчитываемая через постоянную Планка. В России новый эталон килограмма планируют создать к 2028 г.

Современные эталоны представляют собой сложные аппаратурные комплексы. Это настоящее государственное достояние, ведь ошибки измерения могут привести к тому, что в науке может не состояться открытие, а в промышленности отклонение от стандарта может привести к большим экономическим потерям.

Выскажите предположения, как и из-за чего могли изменяться массы платиново-иридиевых цилиндров.

§ 23 ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА

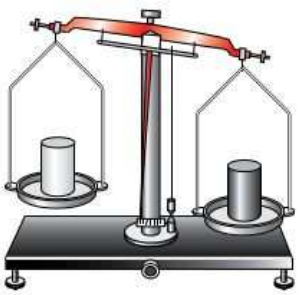


Рис. 55. Сравнение масс тел равного объёма, изготовленных из разных веществ

Поставим на чаши весов железный и алюминиевый цилиндры равного объёма. Равновесие весов нарушилось (рис. 55), значит, тела имеют разные массы. Соответственно тела одинаковой массы, изготовленные из разных веществ, имеют разные объёмы (рис. 56). Задумывались ли вы, почему различные тела одинакового объёма имеют разную массу?

Объясним это с позиций молекулярного строения вещества. Вы знаете, что вещество состоит из молекул, между которыми есть промежутки. Молекулы разных веществ имеют разную массу. Так, масса молекулы ртути примерно в 11 раз больше массы молекулы воды. И расстояние между молекулами в разных веществах разное. Именно это объясняет тот факт, что тела одинакового объёма, изготовленные из разных веществ, имеют разную массу. Данное различие определяется физической величиной, которую называют ***плотностью вещества***.



Рис. 56. Тела равной массы, но разного объёма

Плотность вещества показывает, чему равна масса этого вещества, взятого в единице объёма (1 м^3 или 1 см^3).

Для того чтобы определить плотность вещества, нужно массу тела разделить на его объём.

Плотность — это физическая величина, равная отношению массы тела к его объёму.

плотность = масса / объём

Плотность обозначают греческой буквой ρ («ро»). Зная обозначение массы (m) и объёма (V), можно записать формулу для определения плотности вещества:

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

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

Единицей плотности в СИ является *килограмм на метр кубический* $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

Действительно, поскольку единицей массы является килограмм, а объёма — кубический метр, то

$$\frac{1\ \text{кг}}{1\ \text{м}^3} = 1\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Плотность является характеристикой вещества. Для данного вещества при данных условиях плотность — величина постоянная. Плотности веществ определяют экспериментально и заносят в специальные таблицы.

Таблица 3. Плотности некоторых твёрдых тел

Твёрдое тело	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Твёрдое тело	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Осмий	22 600	22,6	Мрамор	2700	2,7
Иридий	22 400	22,4	Стекло оконное	2500	2,5
Платина	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золото	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свинец	11 300	11,3	Кирпич	1800	1,8
Серебро	10 500	10,5	Сахар-рафинад	1600	1,6
Медь	8900	8,9	Оргстекло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, железо	7800	7,8	Полиэтилен	920	0,92
Олово	7300	7,3	Парафин	900	0,90
Цинк	7100	7,1	Лёд	900	0,90
Чугун	7000	7,0	Дуб (сухой)	700	0,70
Корунд	4000	4,0	Сосна (сухая)	400	0,40
Алюминий	2700	2,7	Пробка	240	0,24

Таблица 4. Плотности некоторых жидкостей (при температуре 20 °С)

Жидкость	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$\rho, \frac{г}{см^3}$	Жидкость	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$\rho, \frac{г}{см^3}$
Ртуть	13 600	13,60	Керосин	800	0,80
Серная кислота	1800	1,80	Спирт	800	0,80
Мёд	1350	1,35	Нефть	800	0,80
Вода морская	1030	1,03	Ацетон	790	0,79
Молоко цельное	1030	1,03	Эфир	710	0,71
Вода чистая	1000	1,00	Бензин	710	0,71
Масло подсолнечное	930	0,93	Жидкое олово (при $t = 400$ °С)	6800	6,80
Масло машинное	900	0,90	Жидкий воздух (при $t = -194$ °С)	860	0,86

Таблица 5. Плотности некоторых газов (при нормальном атмосферном давлении и температуре 20 °С)

Газ	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$\rho, \frac{г}{см^3}$	Газ	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$\rho, \frac{г}{см^3}$
Хлор	3,210	0,00321	Оксид углерода (II) (угарный газ)	1,250	0,00125
Оксид углерода (IV) (углекислый газ)	1,980	0,00198	Природный газ	0,800	0,0008
Кислород	1,430	0,00143	Водяной пар (при 100 °С)	0,590	0,00059
Воздух (при 0 °С)	1,300	0,00130	Гелий	0,180	0,00018
Азот	1,250	0,00125	Водород	0,090	0,00009

Найдём в таблице 4 плотность воды. Как понимать, что плотность воды 1000 $\frac{кг}{м^3}$? Ответ следует из определения плотности: масса 1 $м^3$ воды равна 1000 кг.

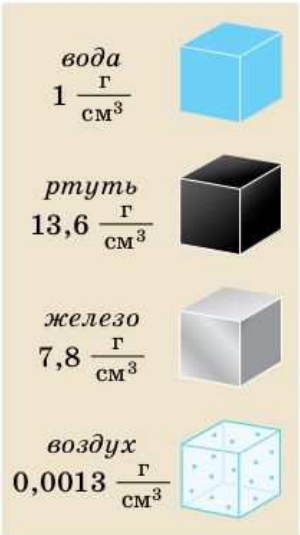


Рис. 57. Плотность кубика, длина ребра которого равна 1 см, численно равна массе этого кубика

На практике часто применяют единицу плотности *грамм на сантиметр кубический* $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ (рис. 57). Найдём связь между единицами плотности на примере воды:

$$\rho_{\text{в}} = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1000 \cdot \frac{1000\ \text{г}}{1\,000\,000\ \text{см}^3} = 1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Значение плотности, выраженное в граммах на сантиметр кубический $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$, *в* 1000 *раз меньше её значения, выраженного в килограммах на метр кубический* $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

Различные вещества могут сильно отличаться друг от друга по плотности. Так, например, ртуть имеет плотность 13,6 $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, а воздух — 0,0013 $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, т. е. плотность воздуха в 10 460 раз меньше, чем плотность ртути. Разница громадная. Но оказывается, во Вселенной встречаются вещества, во много раз более плотные, чем ртуть, и вещества, во много раз менее плотные, чем воздух.

Самые большие плотности имеют вещества в твёрдом состоянии, самые маленькие — газы. Одно и то же вещество в разных агрегатных состояниях имеет разную плотность. Как правило, в жидком состоянии плотность вещества меньше, чем в твёрдом. Исключение составляет вода (см. табл. 3, 4).

Зная плотность вещества, можно предположительно определить его агрегатное состояние. Рассчитав плотности планет Солнечной системы, учёные поняли, что планеты Марс, Венера и Меркурий имеют твёрдую поверхность, так как их плотности близки к плотности Земли. Совершенно иной состав веществ у Юпитера и Сатурна. Средняя плотность Юпитера 1,33 $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, а Сатурна ещё меньше —

0,69 $\frac{г}{см^3}$. По-видимому, основная масса вещества, находящегося под газовой оболочкой этих планет, должна состоять из жидкого вещества.

1. Что такое плотность? **2.** По какой формуле можно рассчитать плотность вещества? **3.** Зависит ли плотность вещества от объёма тела; от массы? **4.** Какие единицы плотности вам известны?

1. Какие опыты вы предложили бы провести, чтобы подтвердить, что плотность является характеристикой вещества, не зависящей от его массы и объёма?

2. Проанализируйте таблицы 3 и 4. Найдите вещество, у которого плотность в жидком состоянии больше плотности в твёрдом состоянии. Какие природные явления существуют благодаря этому свойству?

УПРАЖНЕНИЕ 12

1. Что имеют в виду, когда говорят, что алюминий легче стали?

2. Плотность древесины дерева амбача (растёт в тропической части Африки) 0,04 $\frac{г}{см^3}$. Что это означает?

3. Три кубика — из серебра, стекла и меди — имеют одинаковый объём. Какой из кубиков имеет наибольшую массу, а какой — наименьшую?

4. Два бруска, из алюминия и стали, имеют одинаковый объём. Какой из брусков обладает большей массой и во сколько раз? (Найдите отношение $\frac{m_2}{m_1}$.)

5. Во сколько раз масса кислорода объёмом 1 $м^3$ больше массы водорода того же объёма? Необходимые данные возьмите из таблицы 5.

6. Кусок металла массой 21,9 г имеет объём 3 $см^3$. Найдите плотность металла и, пользуясь таблицей 3, определите, что это за металл. Выразите плотность в $\frac{г}{см^3}$; $\frac{кг}{м^3}$.

7. Деревянный брусок длиной 10 см, шириной 5,5 см и высотой 2 см уравновешен на весах гирями 50 г, 20 г, 5 г, 2 г. Из какого дерева сделан брусок?

8*. Имеются две одинаковые банки: одна с водой, другая с керосином. Банки с жидкостями уравновесили на рычажных весах. У какой жидкости уровень выше — у воды или керосина?

9*. Ртутный медицинский термометр показал повышение температуры. Как изменилась в нём плотность ртути; объём; масса?

ЗАДАНИЕ 18

1. Возьмите нераспечатанную пачку соли или сахара. Определите плотность вещества, проведя необходимые измерения.

2. Возьмите кусок мыла, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда. Проведите необходимые измерения и определите плотность мыла. Сравните полученное вами значение плотности с результатами одноклассников. Равны ли полученные значения? Почему?

Это любопытно...

Космические плотности

Солнце, вокруг которого обращаются Земля и другие планеты, имеет массу в 745 раз бóльшую, чем все планеты, вместе взятые, и в 330 000 раз бóльшую, чем Земля. Объём Солнца в 1 300 000 раз больше объёма Земли. Можно подсчитать, что средняя плотность Солнца в 4 раза меньше средней плотности Земли и равна 1,4 $\frac{г}{см^3}$. Однако надо иметь в виду, что плотность вещества у поверхности Солнца сравнительно мала, но может достигать огромных значений в его центре.

Как известно, Солнце — ближайшая к нам звезда. А какова средняя плотность других звёзд? Доказано, что существуют звёзды, плотность которых близка к плотности Солнца, но есть и такие звёзды, средняя плотность которых значительно отличается от этого значения. Так, например, было установлено, что Сириус состоит из двух звёзд: главной яркой звезды и менее яркой звезды-спутника. Звезда-спутник имеет очень большую среднюю плотность — 40 000 $\frac{г}{см^3}$. Ещё бóльшую плотность имеет звезда Ван Маанена — 1 200 000 $\frac{г}{см^3}$. Если можно было бы наполнить спичечную коробку веществом спутника Сириуса и положить на одну чашу весов, то на другую чашу весов для достижения равновесия пришлось бы поставить 15 взрослых людей. Эту же коробку, наполненную веществом звезды Ван Маанена, уравновесил бы 30-тонный грузовой вагон.



Сравнительные размеры Земли, Солнца и звезды Вольф 457

Звёзд, обладающих очень большой плотностью (их называют белыми карликами), известно много. Одна из них, значащаяся под номером 457 в каталоге звёзд Вольфа, имеет диаметр в 3 раза меньше земного и при этом среднюю плотность 140 000 000 $\frac{г}{см^3}$!

Напротив, плотность звёзд-гигантов мала. Например, Бетельгейзе имеет среднюю плотность около 0,000001 $\frac{г}{см^3} = 10^{-6}\ \frac{г}{см^3}$, т. е. примерно в 1000 раз меньше, чем воздух. Звезда VV созвездия Цефея по объёму в 14 млрд раз больше Солнца, но плотность вещества у этой звезды в 250 тысяч раз меньше плотности воздуха. Учёные подсчитали и среднюю плотность межзвёздной среды. Она составляет примерно 0,000 000 000 000 000 000 000 001 $\frac{г}{см^3} = 10^{-24}\ \frac{г}{см^3}$.

Итак, вещество во Вселенной может находиться как в чрезвычайно плотном, так и в чрезвычайно разреженном состоянии.



Используя содержащуюся в тексте информацию, определите, во сколько раз различаются массы Солнца и звезды Вольф 457.

§ 24 РАСЧЁТ МАССЫ И ОБЪЁМА ТЕЛА ПО ЕГО ПЛОТНОСТИ

$$m = \rho V$$



Массу жидкости можно рассчитать, если известен её объём (указывается на этикетке) и плотность жидкости (берётся из справочной таблицы)

Плотность является важной характеристикой вещества. Её учитывают при проектировании зданий, станков и механизмов, самолётов и космических кораблей. Учёные создают современные искусственные и композитные материалы, обладающие большой прочностью и малой плотностью. Примерами таких материалов могут служить сплавы алюминия и сплавы титана.

Зная плотность вещества и объём тела, можно определить его массу. Из определения плотности $\rho = \frac{m}{V}$ следует, что *для вычисления массы тела нужно плотность умножить на объём тела*:

$$m = \rho V.$$

Пример. Найдите массу бензина в канистре. Канистра имеет форму параллелепипеда высотой 50 см, шириной 35 см, глубиной 16 см.

По таблице 4 найдём, что плотность бензина равна $0,71\ \frac{г}{см^3}$. Выбор данной единицы обусловлен тем, что размеры канистры даны в сантиметрах.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:
$a = 50$ см
$b = 35$ см
$c = 16$ см
$\rho = 0{,}71 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

m — ?

Решение:
$m = \rho V$.
Объём канистры найдём по формуле: $V = abc$.
Тогда масса бензина: $m = \rho abc$,
$m = 0{,}71 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 50 \text{ см} \cdot 35 \text{ см} \times$
$\times 16 \text{ см} = 19\,880 \text{ г} = 19{,}88 \text{ кг}$.

Ответ: $m = 19{,}88$ кг.

Получим из формулы плотности выражение для определения объёма тела, если известны его плотность и масса:

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

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

Чтобы определить объём тела, нужно массу тела разделить на его плотность.

Пример. Для промывки стальной детали массой 15,6 кг её опустили в бак с керосином. Определите объём керосина, вытесненного деталью.

По таблице 3 найдём плотность стали.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:
$m = 15{,}6$ кг
$\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$V_к$ — ?

Решение:
Объём керосина, вытесненный деталью, равен объёму детали: $V_к = V_д$.
Найдём объём детали по формуле: $V_д = \frac{m}{\rho}$,

$$V_д = \frac{15{,}6 \text{ кг}}{7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 0{,}002 \text{ м}^3.$$

Ответ: $V_к = 0{,}002$ м^3.

1. Как определить массу тела, зная его плотность и объём? **2.** По какой формуле можно определить объём тела, зная его массу и плотность?

Докажите, что масса тела, изготовленного из данного вещества, прямо пропорциональна его объёму.

УПРАЖНЕНИЕ 13

1. Какова масса 0,5 л воды; бензина; масла машинного?
2. Две бочки наполнены горючим: одна — бензином, другая — керосином. Объём бочки с керосином в 3 раза больше объёма бочки с бензином. Определите, во сколько раз отличаются массы бензина и керосина в бочках.
3. Каков объём бензобака автомобиля, вмещающего 32 кг бензина?
4. В аквариум длиной 30 см и шириной 20 см налита вода на высоту 25 см. Определите массу воды в аквариуме.
5. Каков объём мраморной глыбы массой 6,75 т?
6. Деталь, отлитая из меди, имеет массу M. Чему будет равна масса такой же детали, выполненной из дерева?

ЗАДАНИЕ 19

1. Придумайте несколько задач, используя данные таблиц 3—5. Обменяйтесь с товарищами условиями задач и решите их.
2. Составьте план эксперимента по сравнению плотности воды и молока, предложите его одноклассникам. В эксперименте используйте стакан и весы с разновесами.

§ 25 СИЛА



Рис. 58. Изменение скорости движения вагонетки под действием руки человека

Как вы уже знаете, если скорость тела меняется, значит, действие какого-то тела изменяет его движение. Рассмотрим несколько примеров.

Когда рабочий толкает вагонетку (рис. 58), вы двигаете тележку в супермаркете или тянете за собой чемодан в аэропорту, *скорость* тележки и чемодана *изменяется* под действием руки. Железная пластинка на пробке, плавающей в сосуде с водой, изменяет свою скорость под действием магнита (рис. 59).

Если сжать пружину, а потом отпустить её, пружина изменит скорость прикреплённого к ней тела, например шарика (рис. 60). Сна-

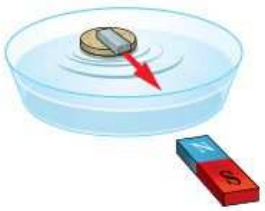


Рис. 59. Изменение скорости движения кусочка железа под действием магнита

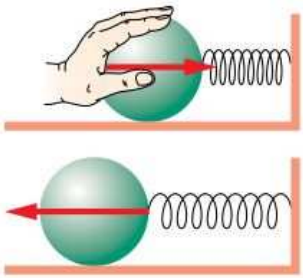


Рис. 60. Движение шарика под действием распрямляющейся пружины



Рис. 61. Изменение направления скорости движения мяча

чала телом, действующим на пружину, была рука. Затем пружина, распрямляясь, подействовала на шарик и привела его в движение, изменив скорость.

Изменить можно не только значение скорости, но и её *направление* (рис. 61). Вы это делали не раз, отбивая мяч.

В результате взаимодействия может измениться как числовое значение (модуль) скорости, так и её направление.



Рис. 62. Прогибание доски под действием тела человека

Действие одного тела на другое может быть больше или меньше. Приведём пример. Отец и сын решили прокатить маму на санках. Сначала за верёвку взялся сын-третьеклассник и стал с трудом тащить санки. Потом санки покатил папа, и они стали набирать скорость быстрее. Кто оказывал на санки большее действие? Конечно, отец. Говорят, что он действовал на санки с большей *силой*, чем сын.

Сила — это физическая величина, характеризующая действие одного тела на другое.



Рис. 63. Деформация ластика

Чем больше действующая сила, тем сильнее изменится скорость и тем большее ускорение получит тело. Сила может не только изменить скорость тела, но и производить другие действия. Например, под действием силы происходит сжатие пружины, изгиб доски (рис. 62) и другие изменения формы и размеров тел (рис. 63).

В этом случае про тело говорят, что оно *деформировано*. Чем больше сила, приложенная к телу, тем сильнее оно деформируется.

Деформацией называют любое изменение формы и (или) размера тела.

Сила является векторной величиной, т. е. она характеризуется не только *числовым значением* (модулем), но и *направлением*. Силу обозначают символом $\vec{F}$ (от лат. *fortis* — сильный) и на рисунке изображают отрезком со стрелкой на конце (вектором), указывающей направление действия силы. Начало отрезка, точку A (рис. 64, *а*), называют *точкой приложения* силы. Длина отрезка соответствует значению силы в определённом масштабе. Модуль силы обозначают буквой F без стрелки.

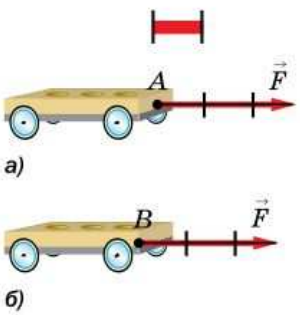


Рис. 64. Изображение силы на чертеже и различные точки её приложения

Результат действия силы зависит не только от модуля силы, но и от её направления. Представьте, что мама решила скатиться на санках с горки, папа может подтолкнуть её или придержать. Даже если модуль силы в обоих случаях одинаков, результат, очевидно, будет разным.

Если приложить силу $\vec{F}$ не к точке A, а к точке B (рис. 64, *б*), повлияет ли это на характер движения тележки? Очевидно, да. В первом случае тележка будет двигаться по прямой в направлении силы $\vec{F}$, а во втором случае тележка начнёт поворачивать.

Таким образом, **результат действия силы зависит от модуля силы, её направления и точки приложения.** Результатом действия силы может быть изменение скорости тела (ускорение) или его деформация.

Опыты показывают, что если на разные тела действует одна и та же сила (например, со стороны одной и той же одинаково растянутой пружины), то произведение ускорения тела на его массу во всех случаях одинаково. Значит, данное произведение позволяет охарактеризовать силу количественно и ввести её единицу.

$1\ Н = 10^{-3}\ кН$
$1\ Н = 10^{-6}\ МН$
$1\ Н = 10^{3}\ мН$

За единицу силы принимают силу, которая за 1 с *изменяет скорость тела массой* 1 кг *на* 1 $\frac{м}{с}$. Эта единица в СИ названа *ньютон* **(Н)** — в честь Ньютона.

На практике часто применяют кратные и дольные единицы силы: *килоньютон* **(кН)**, *меганьютон* **(МН)** и *миллиньютон* **(мН)**.

$$1\ кН = 1000\ Н = 10^3\ Н;$$
$$1\ МН = 1\,000\,000\ Н = 10^6\ Н;$$
$$1\ мН = 0{,}001\ Н = 10^{-3}\ Н.$$

1. Приведите примеры изменения скорости тела. В результате чего произошло это изменение? **2.** Что характеризует сила? **3.** Что значит измерить силу? Что принято за единицу силы?

УПРАЖНЕНИЕ 14

1. В каких из следующих словосочетаний используется физический термин «сила»: сила власти, сила удара, сила воли, много силы потрачено на эту задачу, вооружённые силы?
2. Выразите в ньютонах силы, равные 12,5 кН; 500 мН; 3 мН.
3. Выразите силу 0,8 Н в мН; кН; МН. Результаты запишите в стандартном виде.
4. Изобразите в масштабе 1 см — 2 Н силу, направленную влево и равную 10 Н.

§ 26 ЯВЛЕНИЕ ТЯГОТЕНИЯ. СИЛА ТЯЖЕСТИ

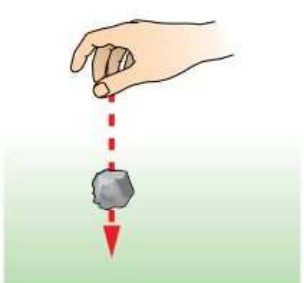


Рис. 65. Движение камня под действием притяжения Земли

Одна из первых встреч с физикой у каждого человека происходит в раннем детстве. Вы, конечно, этого не помните. Когда младенец учится ходить, он делает первый шаг, ещё один шаг и... падает! Потом он научится уверенно ходить, даже бегать. И первые неудачи забудутся. А то, что человек, споткнувшись, падает, становится для нас привычным. Мы перестаём искать причины этого явления, поскольку для нас падение тел на землю совершенно естественно.

Разожмите руку, в которой вы держите камень (рис. 65). Почему камень начал падать



Рис. 66. Траектория движения мяча

на землю? Разве на него действуют другие тела? Мячик, который вы бросили вперёд, почему-то по криволинейной траектории опустился на землю (рис. 66). Что изменило его скорость? И почему искусственный спутник, запущенный с Земли, движется по орбите вокруг нашей планеты (рис. 67), а не падает, как камень или мяч?



Рис. 67. Движение искусственного спутника Земли

С детства мы видим, что Земля притягивает к себе все тела. Сейчас мы сказали бы, что Земля действует на каждое тело с некоторой силой. Мы ощущаем силу, действующую на тела, когда несём сумку с продуктами из магазина. Ощущение тяжести как раз связано с притяжением купленных товаров к Земле.

Силу, с которой Земля притягивает к себе тело, называют силой тяжести.

Силу тяжести обозначают $\vec{F}_{\text{тяж}}$. Приложена она к телу и направлена вертикально вниз (к центру Земли).

Экспериментально было установлено, что *сила тяжести прямо пропорциональна массе тела*. Это значит, что если масса тела увеличится, например, в 2 раза, то сила тяжести тоже увеличится, и тоже в 2 раза.

Обобщив данные многих наблюдений и опытов, Ньютон предположил, что силы, отвечающие за движение небесных тел, имеют ту же природу, что и сила тяжести. Солнце притягивает к себе планеты и другие небесные тела точно так же, как Земля притягивает к себе людей,

дома, воду в реках и океанах и т. д. А поскольку взаимодействие не бывает односторонним, все тела притягиваются друг к другу.

Притяжение всех тел Вселенной друг к другу называют всемирным тяготением.

Как вы считаете, если тело будет удаляться от планеты, то сила притяжения к планете будет увеличиваться или уменьшаться? Опыт показывает, что сила притяжения будет уменьшаться. Ньютон доказал, что при увеличении расстояния от центра планеты до тела в 2 раза сила притяжения уменьшается в 4 раза, при увеличении расстояния в 3 раза сила притяжения уменьшается в 9 раз.

Для того чтобы сила притяжения Земли уменьшилась в 2 раза, надо подняться над её поверхностью на высоту примерно 2600 км.



Движение мяча под действием силы тяжести

Согласно ***закону всемирного тяготения***, установленному Ньютоном, *сила притяжения между телами прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами*.

За счёт того что масса Земли огромна, мы чувствуем её притяжение. Но не ощущаем притяжения друг к другу, потому что наши массы малы.

Силы взаимодействия между телами, которые зависят от их массы, называют ***гравитационными силами*** или ***силами тяготения***.

Гравитационные силы определяют строение Солнечной системы и всей Вселенной. В результате открытия Ньютона выяснилось, что множество, казалось бы, разных явлений — падение тел на Землю, видимое движение Луны и Солнца, океанские приливы и т. д. — представляют собой проявление одного закона — закона всемирного тяготения. Между всеми телами Вселенной действуют силы взаимного притяжения, будь то песчинки, горошинки, камни, планеты. Закон всемирного тяготения объясняет устойчивость Солнечной системы, движение планет и других небесных тел.

1. Почему тела падают на землю? **2.** Расскажите о силе тяжести как о физической величине. **3.** Как сила тяготения зависит от масс взаимодействующих тел? **4.** Какие силы называют гравитационными?

§ 27 СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА



После прекращения действия эспандер примет первоначальные размеры

Говоря о взаимодействии тел, мы пришли к выводу, что результатом действия силы может быть изменение формы тела — деформация. Можно слепить из глины или пластилина предмет желаемой формы простым приложением силы рук. Если устранить силу действия рук, тело сохранит свою новую форму. Деформация, которая не исчезает после прекращения воздействия, является *пластической*.

Но есть тела, которые ведут себя иначе. Вы можете сжать теннисный мячик, и он изменит свою форму. Но как только вы разожмёте пальцы, мячик вернёт себе первоначальные размеры. Резинка растягивается, когда её тянут, но возвращается к исходному размеру, когда сила прекращает своё действие. Деформация, которая исчезает после прекращения воздействия, является ***упругой***.

Силу, возникающую в теле в результате его упругой деформации и стремящуюся вернуть тело в исходное состояние, называют силой упругости.

Силу упругости обозначают $\vec{F}_{\text{упр}}$. Она действует между частями деформированного тела. Кроме того, сила упругости действует со стороны деформированного тела на тела, соприкасающиеся с ним и вызывающие его деформацию. Сила упругости исчезает, если исчезает деформация тела.

Существует несколько видов деформации: растяжения и сжатия (рис. 68, *а*), сдвига (рис. 68, *б*), кручения (рис. 68, *в*) и изгиба (рис. 68, *г*).

Объясним, почему при деформации тела возникает сила упругости. Известно, что все тела состоят из молекул, между которыми действу-

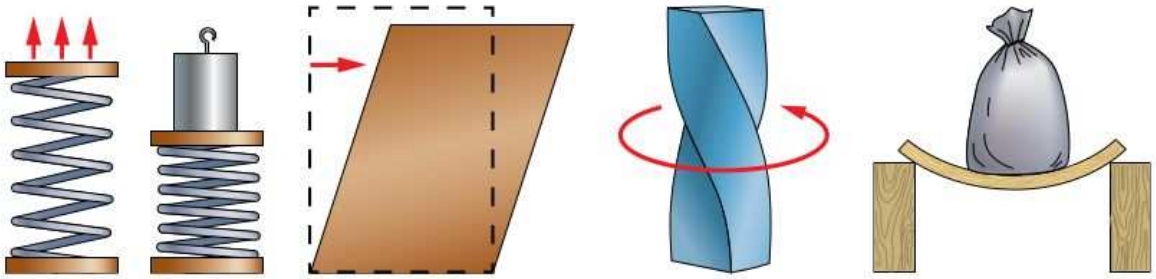


Рис. 68. Виды деформации:
а — растяжения и сжатия; *б* — сдвига; *в* — кручения; *г* — изгиба

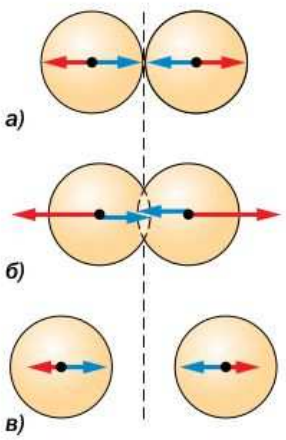


Рис. 69. Силы взаимодействия молекул при их сближении и удалении: красными стрелками показаны силы отталкивания, синими — притяжения

ют силы притяжения и отталкивания. Проявление этих сил зависит от расстояния между молекулами. Если тело не деформировано, силы притяжения молекул уравновешиваются силами отталкивания (рис. 69, *а*). При деформации изменяются расстояния между молекулами. В результате этого силы взаимодействия между молекулами уже не будут уравновешивать друг друга. Например, при деформации сжатия расстояние между молекулами уменьшится, и начнут преобладать силы отталкивания между ними (рис. 69, *б*). Возникнет сила упругости, которая будет препятствовать сжатию тела. И наоборот, при деформации растяжения расстояние между молекулами увеличится и преобладать начнут силы притяжения между ними (рис. 69, *в*). Возникнет сила упругости, препятствующая растяжению тела.

На все тела, находящиеся на Земле, действует сила тяжести. Под действием силы тяжести изменяют скорость оторвавшееся от ветки яблоко, выпавший из рук карандаш.

Почему же остаётся в покое ваза с цветами на столе? Почему действующая на неё сила тяжести не изменяет скорость вазы? Или почему не падает люстра, подвешенная на цепях? По всей видимости, на тела, находящиеся на опоре или подвесе, помимо силы тяжести, направленной вниз, действует какая-то другая сила, направленная вверх.

Представьте, что на дно вазы приклеена губка для мытья посуды. Что произойдёт с губкой,



Рис. 70. Деформация губки

когда вазу поставят на стол? Правильно, губка сожмётся (рис. 70). То же самое происходит и с вазой. Деформируются любые тела, но деформация одних тел более заметна, других — менее. Сила, действующая на вазу или люстру со стороны деформированных опоры или подвеса, — это сила упругости. Она направлена в сторону, противоположную смещению частей тела при деформации, и в рассмотренных примерах уравновешивает силу тяжести.

Взаимосвязь между деформацией и приложенной силой впервые установил английский учёный ***Роберт Гук*** (1635—1703).

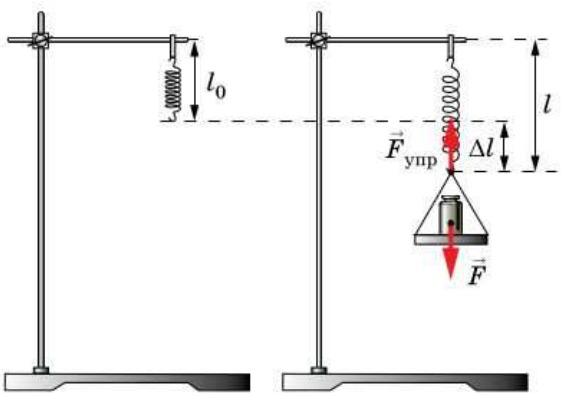


Рис. 71. Возникновение силы упругости при деформации

Рассмотрим опыт. Возьмём пружину, один конец которой закрепим в штативе. Определим длину пружины в отсутствие деформации l_0 (рис. 71).

Подействуем на пружину с некоторой силой. Можно, например, подвесить к свободному концу пружины чашу с гирькой. Пружина растянется, изменив свою длину до значения l. В ней возникнет сила упругости. Деформацию пружины, её удлинение, обозначим Δl и найдём как

$$\Delta l = |l - l_0|.$$

Меняя гирьки, можно изменять длину пружины, а значит, её удлинение.

Этот и другие опыты показывают, что сила упругости прямо пропорциональна деформации:

$$F_{упр} = k\Delta l.$$

$F_{упр} = k\Delta l$

Эта зависимость носит название ***закона Гука***. Он выполняется только для малых (по сравнению с первоначальной длиной тела) упругих деформаций.

Коэффициент пропорциональности k называют ***жёсткостью***. Чем больше жёсткость те-

ла, тем меньше оно деформируется при прочих равных условиях.

Поскольку $k = \frac{F_{\text{упр}}}{\Delta l}$, то единицей жёсткости в СИ является *ньютон на метр* $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.

Жёсткость зависит от свойств материала и размеров деформированного тела, определяется опытным путём.

Различным деформациям подвергаются сухожилия и части скелета человека и животных при выполнении разнообразных движений. Они возникают под действием силы тяжести или внешних нагрузок. Силы упругости, возникающие в сухожилиях и костях, противодействуют этим нагрузкам, предохраняя тело человека от разрушения.

1. При каких условиях возникает сила упругости? **2.** Какую деформацию называют пластической, а какую — упругой? **3.** Сформулируйте закон Гука. **4.** От чего зависит сила упругости?

1. Какие виды деформаций испытывают различные части качелей: верхняя планка; тросы качелей; столбы; сиденье?

2. Железная и медная проволоки одинаковых размеров подвешены вертикально и соединены внизу невесомым горизонтальным стержнем. Сохранится ли горизонтальность стержня, если к его середине прикрепить груз?

3. Объясните, почему неправильно говорить, что сила упругости, возникающая при деформации данной пружины, прямо пропорциональна её жёсткости.

УПРАЖНЕНИЕ 15

1. Какие виды деформаций вы знаете? Приведите примеры. Ответ оформите в виде таблицы.

2. Какую деформацию испытывает почва под действием стоящего на ней автомобиля? Какие изменения при этом происходят с почвой?

3. На основе знаний о строении вещества объясните возникновение силы упругости в стержне, к которому подвешена люстра. Сделайте схематический рисунок расположения молекул стержня в двух случаях: до деформации и в процессе деформации.

4. Докажите, что единицей жёсткости в СИ является $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

5*. Ластик жёсткостью $0{,}5\ \frac{\text{Н}}{\text{см}}$ сжали на 1 мм. Чему равна сила упругости, с которой ластик действует на деформирующие его тела?

ЗАДАНИЕ 20

- Проведите испытание на разрыв швейных ниток одинаковой толщины, но разной длины. Сделайте предположение о том, какую нить будет разорвать легче — длинную или короткую. Проверьте предположение на опыте. Будьте аккуратны, чтобы не пораниться. Объясните полученный результат.

§ 28 СВЯЗЬ МЕЖДУ СИЛОЙ ТЯЖЕСТИ И МАССОЙ ТЕЛА. ВЕС ТЕЛА

Любое тело на Земле испытывает действие силы тяжести. Всякая сила изменяет скорость тел и сообщает им ускорение. Если на тело действует только сила тяжести, то оно движется относительно Земли с ускорением, которое называют ***ускорением свободного падения***[1] и обозначают буквой g (от англ. *gravitation*). Интересно это ускорение тем, что *все тела, независимо от их массы, падают на Землю с одинаковым ускорением*. Значение ускорения свободного падения вблизи поверхности Земли равно примерно 9,8 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Вы знаете, что сила тяжести является гравитационной силой, т. е. зависит от массы тела, на которое она действует. Причём зависимость эта является прямой пропорциональностью. Коэффициентом пропорциональности между силой тяжести и массой тела является ускорение свободного падения. С учётом этого формулу для вычисления силы тяжести можно записать следующим образом:

$F_{\text{тяж}} = gm$

$$F_{\text{тяж}} = gm.$$

Чему равна эта сила? Для разных тел сила тяжести будет различна. Для тела массой 1 кг она будет равна 9,8 Н, или приблизительно

[1] Свободным падением называют движение тела под действием только силы тяжести.



Сила тяжести, действующая на альпинистов, меняется с высотой незначительно. Даже на вершине Эвереста она уменьшается всего лишь на 0,2%

10 Н. Много это или мало? Например, на кусок мыла массой 100 г Земля действует с силой примерно 1 Н. Положив такой кусок мыла на руку, вы можете ощутить действие силы в 1 Н.

Поскольку сила тяжести — это частный случай силы тяготения, то она зависит от расстояния между телом и центром Земли. Чем больше высота, на которой находится тело, тем больше расстояние от него до центра Земли и тем меньше действующая на тело сила тяжести. Так как масса тела постоянна, от расстояния до поверхности Земли зависит ускорение свободного падения. Кроме того, как показывают измерения, *ускорение свободного падения зависит от географической широты местности*. Чем дальше от экватора и ближе к полюсу, тем ускорение свободного падения больше: на полюсе оно составляет 9,83 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, а на экваторе 9,78 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Вам известно, что на неподвижные тела, помимо силы тяжести, действуют другие силы (другие тела) (рис. 72). Например, ведро с водой не падает на Землю, потому что его удерживают рукой. Чем больше воды в ведре, тем с большей силой рука должна действовать, чтобы удержать ведро. А действует ли ведро на руку? Конечно, ведь мы чувствуем его тяжесть, и на руке остаётся след от ручки ведра. Силы, действующие со стороны ведра и со стороны руки, численно равны, но если рука тянет ведро вверх, то ведро тянет руку вниз. Силу, с которой ведро с водой действует на руку, называют *весом*.

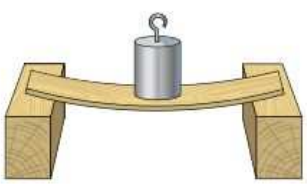


Рис. 72. Доска препятствует падению гири

Вес тела — это сила, с которой тело действует на подвес или опору вследствие притяжения к Земле.

Так же как и другие силы, вес является *векторной величиной*. Обозначается вес символом $\vec{P}$, измеряется в *ньютонах* (Н).

Если тело находится на горизонтальной опоре, неподвижной относительно поверхности Земли, то вес тела численно равен силе тяжести. Это же справедливо, когда опора вместе с телом движется относительно Земли равномерно и прямолинейно.

$$\boldsymbol{P = F_{тяж} = gm.}$$

Стоит отметить, что вес и сила тяжести являются разными по природе силами. Сила тяжести является гравитационной силой, а вес — сила упругости. Сила тяжести действует на тело, а вес — на опору или подвес.

Пример. Определите силу тяжести, которая действует на ученика массой 40 кг, и его вес.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**Решение:**
$m = 40$ кг	Сила тяжести
$g^1 = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$F_{тяж} = gm$
	численно равна весу тела
$F_{тяж}$ — ?	$P = gm.$
P — ?	$F_{тяж} = P = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 40$ кг $= 400$ Н.

Ответ: $F_{тяж} = P = 400$ Н.

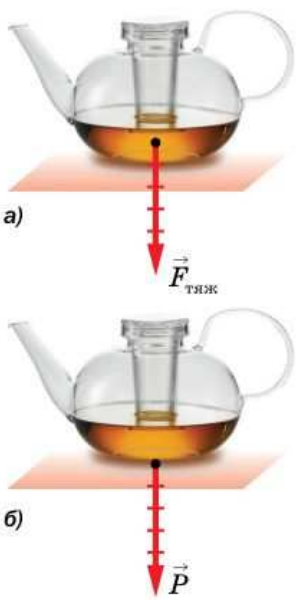


Рис. 73. Изображение: *а* — силы тяжести; *б* — веса тела

Для того чтобы изобразить силу на рисунке, нужно знать точку её приложения, модуль и направление.

Сила тяжести приложена к телу, направлена вертикально вниз, длина стрелки изображается в соответствии с выбранным масштабом (рис. 73, *а*). Вес приложен к опоре (подвесу), направлен вниз, длина стрелки равна длине стрелки, изображающей силу тяжести (рис. 73, *б*). Следует учитывать, что сила тяжести и вес тела не могут уравновешивать друг друга, поскольку приложены к разным телам.

[1] При решении задач, не требующих большой точности, значение $g = 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ округляют до $10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

1. Как определить силу тяжести, действующую на тело известной массы? 2. Что называют весом тела? 3. В чём состоит сходство и различие веса тела и силы тяжести? 4. По какой формуле можно определить вес тела?

1. Отличаются ли силы тяжести, действующие на лифтёра, на первом и последнем этажах небоскрёба?

2. Пружинные весы настроены (проградуированы) на экваторе. Будут ли верно работать эти весы на полюсе?

3. Почему на рычажных весах нельзя обнаружить изменение веса тела при его переносе из одного места Земли в другое?

УПРАЖНЕНИЕ 16

1. Какая сила тяжести действует на тело массой 0,4 кг; 18 кг; 300 г; 8 т?
2. Действует ли сила тяжести на воздух в комнате?
3. На книгу, лежащую на столе, действует сила тяжести, равная 2 Н. Каков вес книги?
4. Определите вес тела массой 5,8 кг; 43 г; 3,1 т.
5. Вес яблока 2 Н. Определите его массу. Изобразите на рисунке вес яблока и действующую на него силу тяжести.
6. На лёгкой нити, прикреплённой одним концом к потолку комнаты, подвешен груз массой 10 кг. Сделайте рисунок по условию задачи и изобразите на нём силы, действующие на груз и на нить. Найдите модуль и направление каждой силы.
7. На лёгкой пружине, верхний конец которой закреплён в лапке стоящего на столе штатива, висит неподвижно груз массой m. Жёсткость пружины равна k. Найдите удлинение пружины.

Это любопытно...

Невесомость

Современная космонавтика решает множество сложнейших проблем: исследует околоземное космическое пространство, верхние слои атмосферы Земли; изучает Солнце, Луну и планеты, влияние невесомости на организм человека, приспособление к ней, последствия внеземного существования (адаптация организма к земным условиям после длительных полётов) и многое другое.

Попробуем разобраться в особенностях состояния *невесомости*. Из названия явления можно догадаться, что в состоянии невесомости исчезает вес тела. Вспомнив определение веса тела, можно сделать вывод:

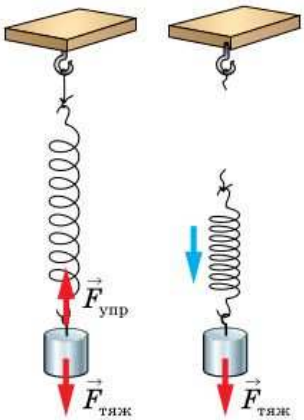


Рис. 74. После перерезания нити деформация пружины исчезает

состояние невесомости заключается в том, что тело не давит на опору и не растягивает подвес.

Многие люди, путая вес и силу тяжести, думают, что в невесомости могут находиться только тела, чрезвычайно далеко удалённые от Земли, на которые не действует притяжение Земли. Вы удивитесь, но каждый из вас очень часто испытывает состояние невесомости. Например, при прыжках, при беге, когда обе ноги оторваны от земли. Только длится это состояние очень малый промежуток времени, поэтому вы и не ощущаете особенного состояния.

Обратимся к опыту. К неподвижной опоре с помощью нити прикрепим пружину, на которую подвесим груз. Под действием груза пружина растянется (рис. 74, *а*). Так как груз на пружине покоится, то сила, с которой груз действует на пружину, по модулю равна силе тяжести.

Легко проследить, как исчезает деформация тела, а значит, и вес при переходе тела от состояния покоя к свободному падению. Перережем нить, груз вместе с пружиной будет падать, при этом деформация пружины исчезнет (рис. 74, *б*). Следовательно, падающее тело не действует на падающую вместе с ним пружину. Действует ли на груз и на пружину сила тяжести? Конечно, ведь именно она заставляет груз и пружину падать. Важно, что в состоянии невесомости отсутствует вес не только всего тела в целом, но и каждой его части. Это означает, например, что голова перестаёт давить на шею, шея на грудь и т. д.

Состояние невесомости наблюдается тогда, когда на тело действует только одна сила — сила тяжести.



Состояние невесомости в космосе

В таком состоянии находятся искусственные спутники, обращающиеся вокруг Земли. Состояние невесомости испытывают космонавты и все предметы на космической станции. Именно поэтому все тела на МКС (Международная космическая станция) обязательно закреплены.

Длительное состояние невесомости, которое испытывают космонавты, может привести к ощутимым изменениям в работе организма человека. Нарушается работа органов кровообращения, системы пищеварения, координация движений. В настоящее время уже достаточно хорошо разработана специальная система упражнений для космонавтов, которая позволяет им более комфортно переносить невесомость, а после возвращения на Землю восстанавливать нормальную жизнедеятельность.

1. Как вы думаете, что произойдёт, если в опыте, изображённом на рисунке 74, вместо груза и лёгкой пружины использовать массивную мягкую пружину?

2. Как измерить массу тела в условиях невесомости?

§ 29 СИЛА ТЯЖЕСТИ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ

Согласно современным представлениям, Солнечная система сформировалась примерно 4,57 млрд лет назад из огромного газопылевого облака, состоящего из смеси твёрдых пылевых частиц и газов. Облако сжималось под действием сил тяготения, и в центре образовалось горячее ядро — Солнце. Оставшиеся в облаке частицы обращались вокруг Солнца по самым различным орбитам, сталкиваясь между собой. Какие-то частицы разрушались, какие-то объединялись в более крупные тела. Из крупных частиц вещества на некотором отдалении от Солнца возникли *планеты земной группы* — Меркурий, Венера, Марс, Земля. Вдали от Солнца, в той части облака, где температура оставалась низкой, газы намерзали на твёрдые частицы. Из этого вещества, основную массу которого составили водород и гелий, сформировались *планеты-гиганты* — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун (рис. 75).

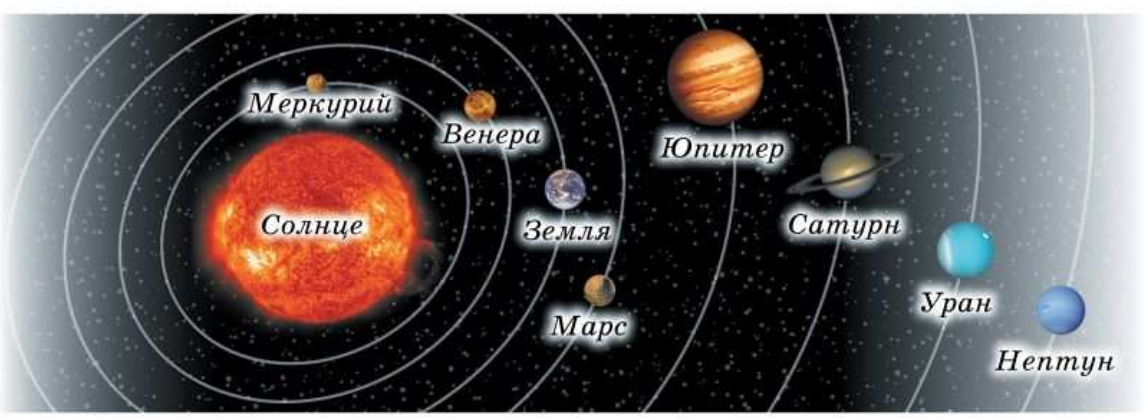


Рис. 75. Движение планет вокруг Солнца

Все восемь больших планет обращаются вокруг Солнца под действием сил тяготения. Силы эти очень велики, что объясняется большими массами небесных тел. Так, сила тяготения между Землёй и Солнцем составляет примерно 30 секстиллионов ньютонов ($3 \cdot 10^{19}$ кН).

Почти все планеты имеют спутники. Они удерживаются на орбитах, по которым движутся вокруг планет, силами тяготения. Самое большое количество спутников обнаружено у Сатурна — 146! Земля имеет один спутник — Луну, а Меркурий и Венера их не имеют вовсе.

По своему внутреннему строению Луна и все планеты земной группы похожи на Землю. Для них характерно наличие литосферы, причём рельеф составляют «материковые» области, которые поднимаются выше среднего уровня поверхности планеты, и «морские» области, лежащие ниже этого уровня. Но только на Земле «морские» области заполнены водой и действительно являются морями. Метеоритные кратеры — это результат внешнего воздействия. Таких кратеров больше всего на Луне и Меркурии, которые лишены атмосферы. Венера и Марс окружены воздушной оболочкой, в основном состоящей из углекислого газа.



а)



б)



в)

Кратеры:
а — на Земле;
б — на Луне;
в — на Венере

Планеты-гиганты получили своё название за большие размеры и огромные массы. Они очень быстро вращаются вокруг своих осей, поэтому сутки на них очень короткие. Например, на Юпитере сутки длятся меньше 10 ч. Отличительной особенностью этих планет является наличие колец, которые состоят из мелких твёрдых частиц.

В атмосферах планет-гигантов, помимо водорода и гелия, в небольших количествах присутствуют такие газы, как метан, аммиак, этан, ацетилен и некоторые другие соединения. В небольших облаках, похожих на земные кучевые облака, содержится вода.



Рис. 76. На Луне человек мог бы поднять автомобиль

Сила тяготения зависит от масс взаимодействующих тел, поэтому чем меньше масса планеты, тем с меньшей силой она притягивает к себе тела. Самая маленькая масса из всех планет у Меркурия — 0,055 массы Земли, а самая большая — у гиганта Юпитера (317,8 земных масс). Если бы сила притяжения тела к планете была прямо пропорциональна массе планеты и не зависела от её размера, то вес тела на Меркурии был бы в 18 раз меньше, чем на Земле, а на Юпитере — в 318 раз больше. В действительности сила притяжения зависит не только от массы, но и от размера планеты, благодаря чему вес тела на Меркурии будет в 2,6 раза меньше, чем на Земле, а на Юпитере в 2,6 раза больше. Это соответствует ускорению свободного падения на Меркурии 3,7 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, а на Юпитере 25 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ против 9,8 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ для Земли.

Наиболее интересно для нас значение силы тяжести на Луне, так как возможно в недалёком будущем человечество сможет создать лунные базы для научных и практических целей. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, расстояние между Землёй и Луной равно 380 000 км. Сила тяжести на Луне в 6 раз меньше, чем сила тяжести, действующая на то же тело на Земле (рис. 76).



КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ ЦИОЛКОВСКИЙ

(1857—1935)

Российский учёный и изобретатель, основоположник современной космонавтики и ракетной техники

Человечество всегда мечтало о полётах в небо и на небесные тела. Что же влекло его в неземные дали? Прежде всего желание постигнуть неведомое и осуществить самые смелые фантазии. Основы современной космонавтики и ракетной техники заложены русским учёным ***Константином Эдуардовичем Циолковским***. Теорию и практику, разработанную К. Э. Циолковским, творчески осваивали молодые советские учёные, привнося в неё много нового.

Практика расширяла кругозор и планы учёных, рождались новые тео-

рии. В 1934 г. в свет вышла первая печатная работа С. П. Королёва, в которой были изложены его мысли о роли полётов в стратосферу.

В Советском Союзе 4 октября 1957 г. впервые в истории человечества был запущен искусственный спутник Земли (ИСЗ). С этой знаменательной даты началось практическое освоение космоса.

Отправляясь в космос, мы пытаемся заполнить пробелы в наших представлениях о мире. Наивно думать, что мы всё уже знаем. Впереди человечество почти наверняка ждут новые открытия.

1. Сколько планет движется вокруг Солнца? **2.** Перечислите планеты земной группы и планеты-гиганты. **3.** Какими силами удерживаются спутники на орбитах около планет? **4.** Какая существует зависимость между массой планеты и силой притяжения? **5.** Назовите характерные черты планет земной группы и планет-гигантов.

УПРАЖНЕНИЕ 17

1. При взвешивании тел на Земле, Луне и Марсе пружинные весы показали одно и то же значение. Сравните массы взвешиваемых тел, учитывая, что $g_З = 9{,}8\ \frac{м}{с^2}$, $g_М = 3{,}8\ \frac{м}{с^2}$, $g_Л = 1{,}6\ \frac{м}{с^2}$.

2. Как можно на спутнике определить массу тела с помощью рычажных весов и гирь?

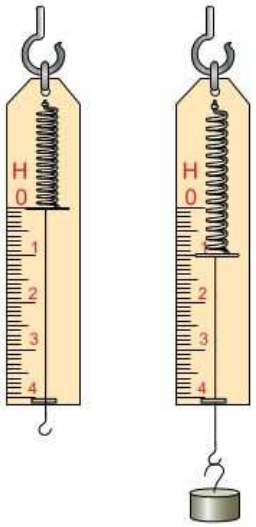
ЗАДАНИЕ 21

1. Изготовьте модель Солнечной системы.

2. Подготовьте доклад (презентацию) о приливах и отливах океана. Обратите внимание на значение периода, с которым происходят приливы и отливы, и зависимость приливов и отливов от фазы Луны.

§ 30 ДИНАМОМЕТР

Знакомство с физической величиной «сила» будет неполным, если мы ничего не скажем о способах её измерения. В приборах для измерения сил чаще всего используют деформацию



а) *б)*

Рис. 77. Принцип действия динамометра

тел, поэтому основная часть прибора для измерения силы, ***динамометра*** (от греч. *динамис* — сила, *метрео* — измеряю), — пружина (рис. 77, *а*). В зависимости от назначения динамометра пружина может быть сделана из разных материалов, выполнена в разных размерах.

Принцип действия динамометра основан на сравнении любой силы с силой упругости пружины. Действительно, груз, подвешенный к пружине, растягивает её. Возникает сила упругости. Когда груз находится в покое (рис. 77, *б*), действующая на него сила тяжести уравновешивается силой упругости. Так как сила упругости прямо пропорциональна деформации пружины, по деформации можно определить силу упругости пружины динамометра, а значит, и силу тяжести, действующую на груз.



Динамометр:
а — лабораторный;
б — трубчатый

Наверное, у каждого дома имеется безмен, который является ***бытовым динамометром***. Его используют для измерения веса тела, но для удобства пользования проградуирован он в единицах массы.

Медицинский динамометр используют для измерения мышечного тонуса различных групп мышц (на основе полученных результатов делают вывод о состоянии здоровья человека), а также для отслеживания в динамике процесса восстановления после перенесённых травм. Разновидностью медицинских динамометров является кистевой динамометр (рис. 78), или ***силомер***. С его помощью измеряется мускульная сила руки при сжатии её в кулак.



Рис. 78. Кистевой динамометр

Тяговые динамометры (рис. 79) используют для измерения сил до нескольких десятков тысяч ньютонов. Их применяют, когда необходимо измерять такие показатели, как тяговые усилия локомотивов, тягачей, тракторов, речных и морских буксиров.

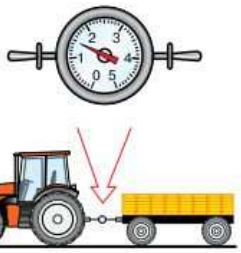


Рис. 79. Тяговый динамометр

По принципу действия, помимо механических, существуют гидравлические и электронные динамометры. В последнее время с развитием технологий всё более широко применяют именно электронные динамометры. Их принцип действия основан на преобразовании деформации в электрический сигнал.

1. Что значит измерить какую-либо силу? **2.** Каким прибором измеряют силу? **3.** В чём заключается принцип действия простейшего динамометра? **4.** Приведите примеры известных вам динамометров.

УПРАЖНЕНИЕ 18

1. Рассмотрите динамометры, изображённые на рисунке 80. Определите цену деления шкалы каждого динамометра и вес каждого груза. Изобразите на рисунке в тетради вес каждого груза. Укажите точку его приложения, масштаб выберите самостоятельно.

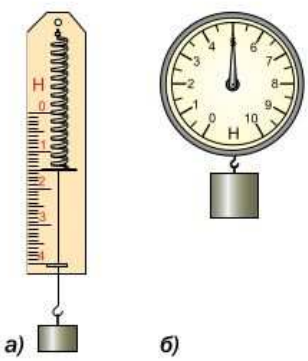


Рис. 80

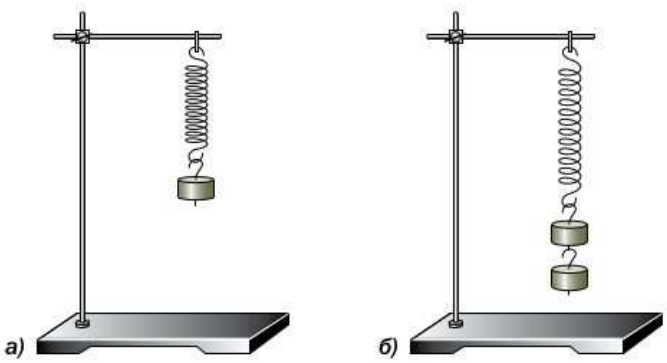


Рис. 81

2. По рисунку 81 определите, чему равна сила, действующая на нижний конец пружины (масса одного груза 100 г). Сравните деформации пружины в случаях *а* и *б*.

3*. В быту часто используются пружинные весы. Возьмитесь за петельку одной рукой, за крючок — другой и потяните. Следите за показанием стрелки. Можно ли эти весы использовать в качестве динамометра?

ЗАДАНИЕ 22

1. Изготовьте динамометр и с его помощью измерьте силу тяжести, действующую на ластик.

Указание. Для этого вам понадобится пружина и дощечка, к которой можно эту пружину прикрепить. Один конец пружины нужно жёстко закрепить, вблизи другого прикрепить стрелку-указатель. Когда пружина не нагружена, на дощечке против указателя следует поставить отметку 0.

Растянув пружину с помощью грузика известной массы, отметьте следующее деление на дощечке цифрой, соответствующей действующей силе тяжести. Шкалу динамометра сделайте такой, чтобы цена деления вашего прибора была равна 0,1 Н.

2*. Определите жёсткость пружины изготовленного вами динамометра.

§ 31 СЛОЖЕНИЕ ДВУХ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ПО ОДНОЙ ПРЯМОЙ. РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛ

В большинстве случаев на тело действует не одна, а несколько сил. Например, на книгу, лежащую на столе, действует сила тяжести и сила упругости. На каплю дождя тоже действуют две силы: сила тяжести и сила сопротивления воздуха.

При решении практических задач действие нескольких сил можно заменить одной силой, *равноценной им по действию*.

Силу, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих на него сил, называют равнодействующей этих сил.

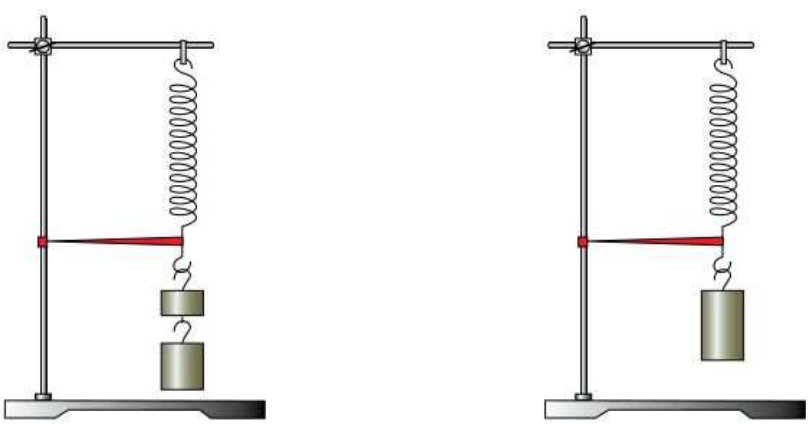


Рис. 82. Нахождение равнодействующей двух сил, действующих на тело по одной прямой

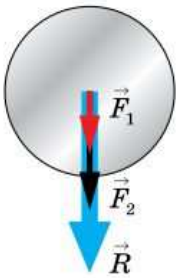


Рис. 83. Графическое изображение равнодействующей двух сил, действующих на тело по одной прямой в одну сторону

Рассмотрим случай, когда на тело действуют две силы, направленные по одной прямой в одном направлении. Закрепим пружину одним концом на штативе, установленном на столе, вблизи другого конца закрепим стрелку-указатель. Подвесим к пружине один под другим грузы массой 102 и 204 г (весом 1 и 2 Н). Отметим положение указателя (рис. 82, *а*) и снимем грузы с пружины. Теперь к пружине подвесим груз весом 3 Н и увидим, что он растягивает пружину точно до нашей отметки (рис. 82, *б*). Это свидетельствует о том, что груз весом 3 Н оказал на пружину такое же действие, как грузы весом 1 и 2 Н вместе.

Следовательно, **равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону, направлена в ту же сторону, а её модуль равен сумме модулей действующих сил.**

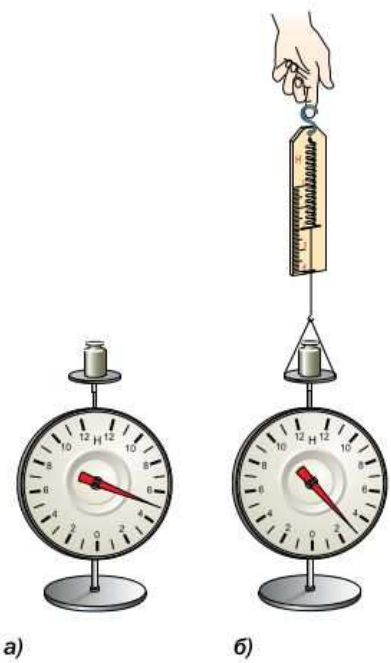


Рис. 84. Нахождение равнодействующей двух сил, действующих на тело в противоположные стороны

На рисунке 83 показано правило сложения сил в этом случае:

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2,$$

где F_1 и F_2 — действующие на тело силы, а R — их равнодействующая.

Как будет выглядеть это правило для сил, действующих на тело по одной прямой, но направленных в противоположные стороны? Поставим на столик динамометра груз весом 5 Н. Сила, действующая на столик со стороны груза, будет направлена вниз и равна 5 Н (рис. 84, *а*). Подействуем на столик с силой 2 Н, направленной вверх. Показание динамометра, на котором закреплён столик, станет 3 Н (рис. 84, *б*). В этом случае равнодействующая сил 5 и 2 Н равна их разности.

Таким образом, **равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в противоположные стороны, направле-**

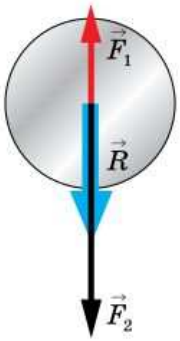


Рис. 85. Графическое изображение равнодействующей двух сил, действующих на тело в противоположные стороны

на в сторону большей по модулю силы, а её модуль равен разности модулей действующих на тело сил (рис. 85):

$$R = F_2 - F_1.$$

Если на тело действуют две силы, равные по модулю и направленные противоположно, то их равнодействующая равна нулю. Говорят, что эти силы уравновешивают, или компенсируют, друг друга. Под действием таких сил тело остаётся в покое (см. рис. 82) или движется равномерно и прямолинейно, ускорение тела в этом случае равно нулю.

1. Сколько сил может действовать на тело? Приведите примеры. 2. Дайте определение равнодействующей сил. 3. Чему равна равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону? 4. Может ли тело, на которое действуют две силы, находиться в равновесии? Объясните почему. Приведите пример.

УПРАЖНЕНИЕ 19

1. Мальчик, масса которого 40 кг, держит в руке гирю массой 10 кг. С какой силой он давит на землю?
2. Клеть массой 250 кг поднимают из шахты, прикладывая силу 3 кН. Определите равнодействующую сил. Изобразите её на рисунке в выбранном вами масштабе.
3. Определите силу сопротивления воздуха, действующую на спускающегося на парашюте спортсмена. Сила тяжести парашютиста вместе с парашютом 900 Н. Движение считать равномерным.
4. Что покажет нижний динамометр в опыте на рисунке 84, если конец нити, привязанной к его столику, тянуть вверх с силой 5 Н?

§ 32 СИЛА ТРЕНИЯ

Мы познакомились с двумя видами сил — силой тяжести и силой упругости. Напомним, что сила тяжести — это сила, действующая со стороны Земли на все тела, находящиеся на ней и вблизи неё (т. е. Земля может действовать и на расстоянии). Сила упругости не мо-



Рис. 86. Возникновение силы трения между санками и льдом

жет действовать на расстоянии и зависит только от деформации и упругих свойств тела.

Познакомимся ещё с одним видом сил, действующих при непосредственном соприкосновении взаимодействующих тел.

Толкнём игрушечный автомобиль рукой, он начнёт двигаться. Со временем его скорость будет становиться всё меньше и меньше, наконец, автомобиль остановится. Санки, съезжая с горки, на горизонтальном участке пути постепенно уменьшают свою скорость до нуля (рис. 86). Мячик, катящийся по футбольному полю, через некоторое время останавливается. Какая сила уменьшает скорость всех этих тел?

Проведите пальцем по столу, вы почувствуете, что поверхность стола как бы сопротивляется движению пальца, вы ощущаете ***трение***.

Сила трения возникает между соприкасающимися телами при движении одного тела по поверхности другого. Силу трения обозначают $\vec{F}_{тр}$. Направлена она в сторону, противоположную скорости движения тела.

Попробуем объяснить, какова причина возникновения силы трения. Любая поверхность, какой бы гладкой она ни казалась, имеет шероховатости и трещины (рис. 87, *а*), они мешают движению. А у абсолютно гладких, хорошо отполированных поверхностей молекулы оказываются на таком малом расстоянии, что начинают проявляться силы притяжения между молекулами соприкасающихся тел. Это также препятствует движению.

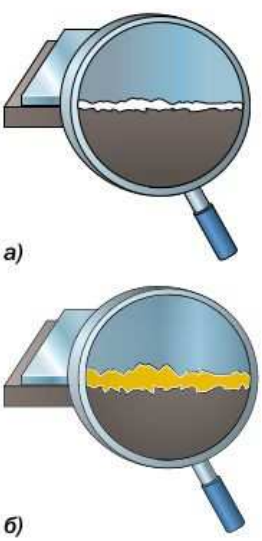


Рис. 87. Уменьшение силы трения с помощью смазки

Те из вас, кто регулярно ухаживает за своим велосипедом, знают, что для уменьшения трения используется смазка. Слой смазки (рис. 87, *б*) разъединяет поверхности трущихся тел, заполняет трещины. В результате поверхности соприкасаются не между собой, а со смазкой. В технике в качестве смазки, как правило, используются жидкие масла, а в жидкостях взаимодействие молекул слабее,



Скольжение по льду

чем в твёрдых телах, поэтому слои жидкости легко смещаются относительно друг друга.

В зависимости от характера движения тела различают ***трение скольжения*** и ***трение качения***. Трение скольжения проявляется при скольжении одного тела по поверхности другого (см. рис. 86). Трение качения возникает при движении колёсного транспорта — поездов, автомобилей, велосипедов; при перекатывании брёвен, валов и т. п.

Силу трения, как любую силу, можно измерить с помощью динамометра. Например, чтобы измерить силу трения скольжения бруска по поверхности стола, прикрепим к бруску динамометр и, держа его горизонтально, будем двигать брусок по столу. Условие, которое непременно нужно соблюдать при измерении силы трения, — двигать тело необходимо равномерно. Это связано с тем, что на тело в горизонтальном направлении (рис. 88, *а*) действуют две силы. Одна — сила упругости пружины динамометра, которая приводит брусок в движение, вторая — сила трения. Сила упругости направлена в сторону движения тела, сила трения — против движения. Если брусок движется равномерно, значит, силы уравновешивают друг друга, они равны по модулю и противоположны по направлению. Измеряя силу упругости пружины, мы фактически определяем силу трения. Получается, что посредством силы упругости мы измеряем силу трения.

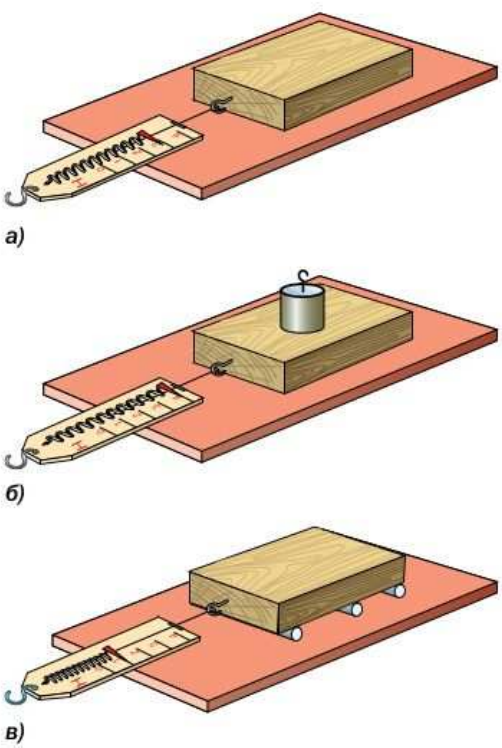


Рис. 88. Сравнение сил трения скольжения (*а*, *б*) и трения качения (*в*)

Если на брусок поставить груз, мы почувствуем, что трение увеличилось. Показания динамометра подтвердят наши ощущения, он покажет бóльшую силу, чем в случае без груза (рис. 88, *б*).

Рассмотренный опыт позволяет сделать вывод, что *сила трения зависит от того, с какой силой тело давит на поверхность*. Чем больше сила, прижимающая тело к поверхности, тем больше возникающая при движении сила трения.

Изменим условия опыта, положив брусок на цилиндрические палочки. Равномерно двигая брусок, определим силу трения качения (рис. 88, *в*). Мы увидим, что показания динамометра будут значительно меньше, чем при измерении силы трения скольжения.

Таким образом, при прочих равных условиях сила трения качения оказывается меньше силы трения скольжения. Именно поэтому одним из самых важных изобретений человечества считается колесо. Оно позволило облегчить транспортировку тяжёлых грузов, что положительно сказалось на развитии торговли и строительства.

1. Приведите примеры, доказывающие существование силы трения, не упоминавшиеся в параграфе. **2.** Объясните причины возникновения трения. **3.** Зачем применяют смазку? **4.** Перечислите известные вам виды трения. **5.** Опишите возможный способ измерения силы трения.

ЗАДАНИЕ 23

1. Убедитесь на опыте, что сила трения скольжения зависит от прижимающей силы. (Используйте изготовленный вами ранее динамометр.)

2. Придумайте способы уменьшения силы трения скольжения при движении книги по столу. Как увеличить силу трения?

3. Докажите на опыте, что сила трения скольжения зависит от материала соприкасающихся поверхностей.

§ 33 ТРЕНИЕ ПОКОЯ

Мы привыкли к существованию сил трения и даже не задумываемся об их роли в нашей жизни. Вспоминаем о них, лишь поскользнувшись на ледяной дорожке или подбирая

мазь для лыж. Трение же проявляет себя во многих ситуациях, где мы о нём даже и не подозреваем.

Тело на наклонной плоскости находится в покое именно благодаря трению. Чтобы проверить данное утверждение, проделайте простой опыт. Сделайте наклонную плоскость, приподняв обложку книги. Положите на неё мобильный телефон и, меняя угол наклона обложки, добейтесь, чтобы телефон начал соскальзывать с горки. Не меняя угла наклона, положите на обложку тканевую салфетку. Теперь телефон не будет соскальзывать с горки. Что изменилось? Изменилась сила трения. Получается, что именно она удерживает предметы в состоянии покоя на наклонной плоскости.

Рассмотрим ещё один пример. Делали ли вы когда-нибудь в своей комнате перестановку? Вспомните ситуацию, когда вы пытались сдвинуть с места свой письменный стол. Если вы прикладываете недостаточную силу, стол остаётся в покое. Но вы же прикладываете силу, следовательно, должна измениться скорость стола. Раз этого не происходит, значит, есть ещё какая-то сила, которая равна по модулю силе вашего действия и противоположна ей по направлению. Это тоже сила трения, но, так как она проявляет себя, когда тела неподвижны, её называют ***силой трения покоя***.



Рис. 89. Перемещение людей на ленте траволатора

Для того чтобы ускорить погрузку багажа в самолёт, используют транспортёр. Чемоданы, удерживаясь на ленте транспортёра силой трения покоя, плавно поднимаются к люку багажного отсека. На том же принципе основана работа ленточного конвейера на производстве, траволатора, облегчающего передвижение людей в торговых центрах, аэропортах (рис. 89).

Представьте себе, что силы трения покоя исчезли в вашей комнате. За счёт малейшего уклона пола поехал шкаф. Пытаясь идти вперёд, вы бы скользили в сторону. Вот упала картина, потому что гвоздь, на котором она висела, удерживался в стене силой трения покоя. Вслед за ней оборвалась люстра.

Одежда, рассыпаясь на глазах, падает на пол отдельными нитками. Оказывается, нитки в ткани удерживаются тоже силами трения покоя.

Продолжить этот научно-фантастический рассказ вы можете самостоятельно.

1. Приведите примеры проявления силы трения покоя в быту и в технике. **2.** Какую силу необходимо приложить к книге, лежащей на столе, чтобы сдвинуть её с места? **3.** Чему равна и как направлена сила трения покоя?

1. На столике в вагоне поезда лежат пачка печенья и яблоко. Почему, когда поезд тронулся с места, яблоко покатилось назад, а пачка печенья осталась в покое?

2. В результате действия какой силы человеку, неподвижно стоящему на земле, удаётся сдвинуться с места и приобрести ускорение? Куда направлена эта сила? Со стороны какого тела она действует?

§ 34 ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ



Движение гусениц по листку

На практике, как вы теперь знаете, с силой трения приходится сталкиваться почти повсеместно. Без трения покоя невозможно было бы удержать в руках ни один предмет, передвигаться по земле (подошвы обуви проскальзывали бы, не давая возможности оттолкнуться). У многих растений и животных органы, служащие для хватания (усики растений, хобот слона, хвосты ящериц и т. п.), имеют шероховатую поверхность.

Когда трение нам помогает, мы прилагаем усилия, чтобы увеличить силу трения. Например, автомобиль останавливается благодаря силе трения со стороны дороги. Но без трения он не мог бы и начать движение. Двигатель ра-



Рис. 90. Ребристые выступы на шинах позволяют увеличить трение

ботал бы, колёса вращались, но не «цеплялись» бы за дорогу, и автомобиль стоял бы на месте. Чтобы увеличить трение, у шин автомобиля протектор делают специальной формы (рис. 90), а шины, предназначенные для зимних путешествий, иногда снабжают ещё и металлическими шипами. Чтобы ноги не скользили, зимой обледеневшие участки дороги посыпают песком или гранитной крошкой.

Однако чаще сила трения вредна. В любом двигателе много движущихся частей. Если трение между ними будет велико, то оно вызовет преждевременный износ валов и других частей. Кроме того, для преодоления силы трения двигатель должен развивать дополнительные усилия, что связано с увеличением расхода горючего и электроэнергии. Для уменьшения силы трения соприкасающиеся поверхности делают гладкими, в узлах различных машин и механизмов применяют смазку. Например, для того чтобы в двигателе автомобиля поршень из-за трения о стенки цилиндра не нагревался, была создана сложная система смазки. Основы теории трения при смазке были заложены в конце XIX в. русским учёным ***Николаем Павловичем Петровым***.



НИКОЛАЙ ПАВЛОВИЧ ПЕТРОВ

(1836—1920)

Русский учёный-механик и инженер. Его работы заложили фундамент теории, лежащей в основе разработки оптимальных режимов смазки в машинах

Для уменьшения трения вращающихся деталей их опирают на ***подшипники*** (рис. 91). Практически во всех механизмах, где есть движущиеся части, используются подшипники. Чтобы при нагрузках подшипник не деформировался, его изготавливают из твёрдых материалов: стали, чугуна, бронзы или современных композитных[1] материалов. В ***подшипнике скольжения*** две поверхности, скользя друг по другу, предохраняют от изнашивания основную деталь.

[1] Современные технологии смогли соединить материалы с отличающимися свойствами, чтобы получить новые материалы с уникальными свойствами.



Рис. 91. Подшипники



Рис. 92. Различные виды подшипников

В некоторых ситуациях силу трения можно уменьшить, заменив трение скольжения трением качения. ***Подшипник качения*** состоит из внутренней обоймы (вкладыша), внешней обоймы и тел качения (шариков или роликов), находящихся между кольцами (рис. 92). Внутреннее кольцо подшипника насажено на ось, неподвижно связанную с деталью, наружное — закреплено в корпусе машины. Чтобы при вращении вала ролики (шарики) в подшипнике не смещались при движении, их помещают в сепаратор — специальное кольцо с окошками.

Поскольку подшипники используют в самых разных устройствах, их изготавливают самых разных размеров: от микроскопически маленьких до огромных, диаметром больше метра.

1. Назовите виды трения. Приведите примеры. **2.** Приведите примеры полезного использования трения. **3.** Приведите примеры, в которых трение оказывается вредным. **4.** Вспомните случаи, когда вам необходимо было увеличивать или уменьшать силу трения. Как вы это делали? **5.** Зачем в машинах используют подшипники? **6.** Опишите устройство подшипника скольжения; подшипника качения.

ЗАДАНИЕ 24

1. Побеседуйте со знакомыми вам автомобилистами и выясните, в каких узлах автомобиля необходимо увеличивать трение (трение полезно), в каких уменьшать (трение вредно).
2. Посмотрите на подошвы своих зимних ботинок, кроссовок и летних туфель. Объясните, почему они отличаются.

ИТОГИ ГЛАВЫ

Надеемся, что теперь на вопрос, почему мячик, катящийся по траве, остановился, у вас есть ответ. Вы можете различить силу тяжести и вес тела, знаете, от чего зависит сила упругости, сила трения. Понимаете, что характеризует плотность тела и как её определить. Можете рассчитать скорость тела при равномерном дви-

жении и его ускорение при неравномерном. Умеете применять формулы для расчёта силы тяжести, силы упругости, веса тела. Умеете пользоваться динамометром для измерения сил.

Вы сделали первый шаг к освоению законов механики. В дальнейшем вы сможете решать интереснейшие задачи о движении тел не только на Земле, но и в далёком космосе. Вы поймёте, почему Луна, притягиваясь к Земле, не падает на неё. Сможете объяснить, почему кометы появляются вблизи нашей планеты лишь на короткое время и вновь уносятся в космическую даль.

ОБСУДИМ?

Иван и Гоша увлекаются беговыми лыжами. Гоша обычно опережает Ивана при прочих равных условиях забега на лыжах. Тренер Ивана объясняет такие результаты тем, что вес Ивана больше веса Гоши и, предположительно, поэтому лыжи Ивана скользят значительно хуже по лыжне.

Согласны ли вы с тем, что утверждает тренер? Правда ли, что лыжи Ивана скользят хуже, при том что сами лыжи абсолютно одинаковые? Аргументируйте своё мнение.

Предложите экспериментальные способы проверить, чьи лыжи скользят лучше.

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Инерция, вот ты где!» (возможная форма: презентация, опыт, кроссворд).
2. «Плотности земные и космические» (возможная форма: презентация, викторина, таблица).
3. «Сила! Я тебя знаю!» (возможная форма: презентация, кроссворд, викторина, таблица, изготовление прибора, макета).
4. «Невесомость на Земле» (возможная форма: презентация, опыт, викторина).
5. «Трение в жизни человека» (возможная форма: презентация, ролевая игра, викторина).

Глава 3 ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

§ 35 ДАВЛЕНИЕ. ЕДИНИЦЫ ДАВЛЕНИЯ



Рис. 93. Различное действие силы

Почему никому из нас не удаётся вдавить камешек в доску, а канцелярская кнопка при том же усилии легко входит в неё? Почему даже незначительное усилие, приложенное к иголке, вызывает при уколе сильную боль? Почему человек, идущий по снегу, сильно проваливается в него, а надев лыжи, легко передвигается по снежной глади (рис. 93)? Почему результат действия одной и той же силы оказывается разным?

Опыт показывает, что *результат действия силы зависит не только от её значения, но и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует* (рис. 94). Для характеристики этой зависимости существует физическая величина — ***давление***.

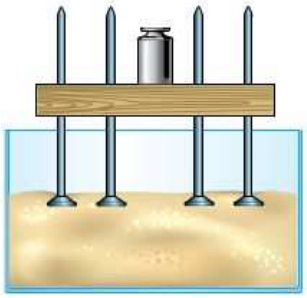
Физическую величину, равную отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности, называют давлением.

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

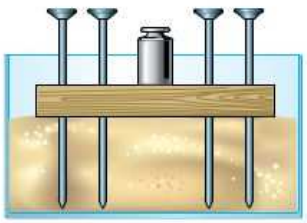
Силу, действующую перпендикулярно поверхности тела, называют *силой давления*.

Давление обозначают буквой p (от лат. *pressura* — давление) и рассчитывают по формуле:

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



а)



б)

Рис. 94. Зависимость давления от площади опоры



Рис. 95. Уменьшение площади режущей поверхности увеличивает давление на зажатое тело

Попробуйте нажать большим пальцем на шляпку канцелярской кнопки. А затем, перевернув кнопку, приложить такую же силу к острию. Скорее всего, у вас ничего не получится (будет больно). Площадь шляпки кнопки примерно 1 см^2, а площадь острия — 0,0001 см^2. Если в обоих случаях действовать на кнопку с одинаковой силой, то во втором случае давление будет в 10 тысяч раз больше, чем в первом.

Конечно, люди давным-давно установили такую зависимость опытным путём. Ещё первобытный человек для каменного топора подбирал камни с острым краем, для копья брал кости поострее. По тому же принципу позже изготавливались и стрелы для лука, и иглы для сшивания шкур и кожи, и мечи. Для того *чтобы получить с помощью малой силы большое давление, достаточно уменьшить площадь поверхности, на которую действует сила.*

Остриё колющих и лезвие режущих инструментов (игл, ножниц, резцов, пил и др.) затачивают именно для того, чтобы уменьшить площадь, на которую будет действовать сила, т. е. площадь соприкосновения с обрабатываемой поверхностью. Так, действуя одинаковой силой на зажатое тело, клещами (рис. 95) можно произвести большее давление, чем плоскогубцами. Острым инструментом легче работать, чем тупым, потому что результата можно добиться с помощью меньшей силы.

Бывают и обратные ситуации, когда в практической деятельности требуется при большой силе получить как можно меньшее давление. Как этого достичь? Как добиться малого давления колёс тяжёлой грузовой машины на грунт, чтобы избежать его разрушения?

Из определения давления следует, что для *уменьшения давления при неизменной силе нужно увеличить площадь поверхности, на которую действует сила.* Недаром шины грузо-



Рис. 96. Давление на поверхность уменьшается с увеличением площади опоры (колёс автомобиля)

вых автомобилей (рис. 96) и самолётов значительно шире, чем легковых автомобилей. Гусеничный трактор, благодаря большой площади опоры гусениц, может свободно перемещаться по вспаханной почве, хотя его масса достигает нескольких тонн. Трудно поверить, но трактор оказывает на почву почти такое же давление, что и человек.

Вы уже знаете, как получить единицу физической величины, определяемой некоторой формулой. Для определения единицы давления в формулу $p = \frac{F}{S}$ надо подставить единицы силы и площади:

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

Единица давления в СИ — *ньютон на квадратный метр* $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$. Она названа *паскаль* **(Па)** по имени французского учёного ***Блеза Паскаля***.

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

1 Па — *это давление, производимое силой* 1 Н, *действующей на поверхность площадью* 1 м^2 *перпендикулярно этой поверхности*.

1 Па = 10^{-2} гПа
1 Па = 10^{-3} кПа
1 Па = 10^{-6} МПа

1 Па — очень маленькое давление. Примерно такое давление оказывает лист бумаги на поверхность стола. На практике чаще применяются *гектопаскали* **(гПа)**, *килопаскали* **(кПа)** и *мегапаскали* **(МПа)**.

1 гПа = 100 Па = 10^2 Па;

1 кПа = 1000 Па = 10^3 Па;

1 МПа = 1 000 000 Па = 10^6 Па.

Пример. Рассчитайте давление, которое оказывает станок массой 800 кг, если площадь его опоры 400 см^2.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**СИ**	**Решение:**
$m = 800$ кг $S = 400$ см^2 $g = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$0{,}04$ м^2	Давление, производимое станком: $p = \frac{F}{S}$.
p — ?		Сила давления равна весу станка: $F = P$.

Вес станка: $P = gm$.

$$P = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 800\ \text{кг} = 8000\ \text{Н},$$

$$p = \frac{8000\ \text{Н}}{0{,}04\ \text{м}^2} = 200\ 000\ \text{Па} = 200\ \text{кПа}.$$

Ответ: $p = 200$ кПа.

1. Приведите примеры, иллюстрирующие, что результат действия силы зависит от площади опоры, на которую действует эта сила. **2.** Что называют давлением? **3.** Почему при уколе острая иголка легче проникает, например, в кожу, чем тупая? **4.** Опишите опыт, показанный на рисунке 94. Какой вывод можно сделать из этого опыта? **5.** Какие единицы давления вы знаете?

Решая задачу на определение давления, Иван воспользовался тем, что давление прямо пропорционально силе давления, а Лена при решении другой задачи — тем, что давление обратно пропорционально площади поверхности, на которую действует сила. Предложите условия задач, которые могли решать ребята.

УПРАЖНЕНИЕ 20

1. Выразите в паскалях давление: 12 гПа; $0{,}3\ \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$; 0,05 кПа; $6\ \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$. Выразите в гектопаскалях и килопаскалях давление: 25 000 Па; 700 Па.

2. Какое давление оказывает трактор на землю, если его вес 30 000 Н, а площадь опирающихся на землю гусениц 1,6 м^2? Во сколько раз оно отличается от давления, производимого станком (см. *пример*)?

3. Какое давление на дно кастрюли площадью 1000 см^2 оказывают 3 кг воды?

4. Мальчик массой 55 кг стоит на коньках. Ширина лезвия коньков равна 5 мм, а длина той части лезвия, которая опирается на лёд, составляет 17 см. Вычислите давление, производимое коньками на лёд. Сравните полученный результат с давлением, которое производит мальчик, стоящий без коньков, если площадь подошв его ботинок равна 300 см^2.
5. Зачем для переезда по болотистым местам делают настил из хвороста, брёвен и досок?
6. Используя знания о давлении, обоснуйте способ спасения человека, провалившегося под лёд (рис. 97). Почему не следует приближаться к краю полыньи?



Рис. 97

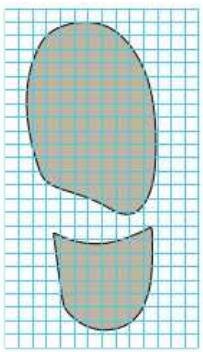


Рис. 98

ЗАДАНИЕ 25

1. В стеклянную ёмкость насыпьте песок. Пластиковую бутылку с длинным горлышком наполните водой, закройте крышкой и поставьте на песок. Затем бутылку переверните вверх дном и поставьте на песок горлышком. Сфотографируйте результаты опыта, сравните глубину погружения бутылки в песок. Что показывает этот опыт? Как следует изменить условия, чтобы показать, что результат действия силы зависит от её значения?
2. Зная свою массу, подсчитайте, какое давление вы оказываете на пол, стоя на двух ногах; стоя на одной ноге.

   Указание. Чтобы определить площадь своей ноги, поставьте ногу на лист бумаги в клетку и обведите контур той части подошвы, на которую опирается нога (рис. 98). Посчитайте число целых клеток внутри контура. Прибавьте к нему половину от числа неполных клеток, по которым прошла линия контура. Полученное число умножьте на площадь одной клетки (0,25 см^2), и вы узнаете площадь своей ноги.
3. Определите давление, которое оказывает ваш учебник, лежащий на столе.
4. Рассчитайте, во сколько раз давление стола, за которым вы делаете уроки, уменьшится, если его перевернуть и поставить крышкой на пол.

Из окна квартиры мы видим, как у деревьев, бывших до того неподвижными, вдруг затрепетали листья, пришли в движение ветки, наклонились в одну и ту же сторону макушки. «Подул ветер», — говорим мы. А что это значит? Почему, если дует ветер, листья и ветви деревьев движутся?

Мы знаем, что воздух — это газ. Ветер — это перемещение в одну и ту же сторону огромной массы воздуха (газа). При этом частицы воздуха действуют на листья и ветки деревьев, заставляя их перемещаться в ту же сторону, куда дует ветер. Ветви деревьев перемещаются, потому что на них действует сила. А там, где действует сила, есть и давление.

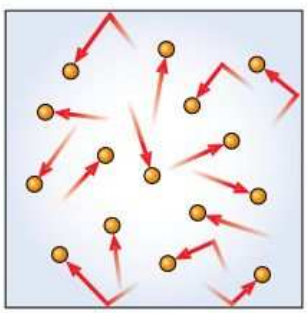


Рис. 99. Хаотическое движение молекул газа

А если нет ветра, способен ли газ оказывать давление? Рассмотрим воздух, находящийся в закрытом сосуде, неподвижном относительно Земли. В этом случае воздух не движется всей своей массой, однако его частицы совершают беспорядочное движение, сталкиваясь друг с другом и со стенками сосуда (рис. 99). Удары одной частицы ничтожны, но за счёт того, что частиц очень много, число ударов велико и результат их значителен. Следуя очень часто друг за другом, эти удары производят давление на стенки сосуда.

Таким образом, **давление газа на стенки сосуда или на тело, помещённое в газ, создаётся за счёт ударов молекул, из которых состоит газ.**

Давайте немного поэкспериментируем. Накачайте футбольный мяч или надуйте резиновый шарик. И мячик, и шарик примут сферическую форму. Это говорит о том, что давление газа на стенки камеры мяча или шарика одинаково передаётся во все стороны, ведь молекулы движутся беспорядочно, поэтому их действие распределено по всему объёму равномерно.



а)

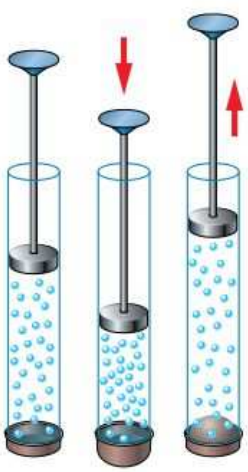


б)

Рис. 100. Опыт, демонстрирующий, что давление газа по всем направлениям одинаково

Такой вывод подтверждает и следующий опыт. Поместим завязанный резиновый шарик, содержащий небольшое количество воздуха, под колокол воздушного насоса. В слабо надутом состоянии он имеет неправильную форму (рис. 100, *а*). Если откачивать насосом воздух из-под колокола, то шарик начнёт постепенно раздуваться (рис. 100, *б*). Это происходит из-за того, что количество молекул воздуха снаружи шарика уменьшается, а внутри шарика не изменяется. Число ударов о резиновую оболочку снаружи становится меньше, чем изнутри, что приводит к раздуванию шарика.

Рассмотрим ещё один опыт. Возьмём шприц без иглы, зажмём открытый конец пальцем и будем вдвигать поршень. Чем сильнее сжимается воздух (чем меньше его объём в шприце), тем большее усилие требуется для дальнейшего сжатия и, следовательно, тем больше давление воздуха в шприце. Объяснить такое поведение газа можно так: чем меньше объём газа данной массы, тем больше молекул приходится на единицу его объёма, и тем чаще ударяются они о стенки сосуда, в котором находятся. Раз удары чаще, то давление должно быть больше.



а) б) в)

Рис. 101. Изменение давления газа при изменении его объёма

Таким образом, **чем меньше объём газа данной массы, тем больше его давление; чем больше объём газа данной массы, тем меньше его давление** (при условии постоянства температуры).

Продемонстрируем это на опыте (рис. 101, *а*). Медленно вдвигая поршень внутрь стеклянной трубки, затянутой резиновой плёнкой, увидим, что плёнка прогибается наружу (рис. 101, *б*), что свидетельствует об увеличении давления воздуха в трубке. Если поршень поднимать вверх, плёнка втягивается внутрь трубки (рис. 101, *в*), что указывает на уменьшение давления воздуха в трубке.

Мы предполагали температуру газа неизменной и тем самым неизменной скорость молекул.



Рис. 102. Баллон для хранения газов

Теперь же будем считать объём газа данной массы постоянным, а температуру — величиной изменяющейся. Предположим, что нагревается пар в герметическом котле. Такая процедура может закончиться взрывом, если температура пара высокая, а стенки котла не очень прочные. Как это объяснить? Вы уже знаете, что при повышении температуры возрастает скорость движения молекул. Поэтому их удары о стенки сосуда становятся сильнее. Кроме того, увеличение скорости молекул приводит к тому, что они чаще ударяются о стенки сосуда. По этим двум причинам и происходит возрастание давления газа.

Следовательно, **повышение температуры газа в закрытом сосуде приводит к увеличению давления газа.**

Хорошую сжимаемость газов используют при их хранении и перевозке. В результате сжатия газов их давление значительно увеличивается (пропан, например, хранится при давлении 1,5 МПа), поэтому сжатые газы содержат в специальных прочных стальных баллонах (рис. 102).

Сжатые газы используют в работе отбойного молотка, пневматического тормоза, в механизме открывания дверей в автобусах и др.

1. Как на основе знаний о движении молекул объяснить давление газа? **2.** Опишите опыт, показывающий, что газ производит давление на стенки сосуда, в котором он находится. **3.** Что доказывает опыт, изображённый на рисунке 100? Объясните опыт. **4.** Как объяснить с позиций молекулярного строения вещества изменение давления газа при изменении его объёма? **5.** Число молекул воздуха в закрытом сосуде не меняется. Почему же увеличивается давление воздуха на его стенки, если сосуд нагревать? **6.** Почему сжатые газы хранят в прочных стальных баллонах?

ЗАДАНИЕ 26

1. Возьмите пустую пластиковую бутылку с завинчивающейся крышкой ёмкостью 0,5 л. Подержите её час в морозильной камере. Достаньте бутылку и сфотографируйте её. Дайте объяснение наблюдаемому эффекту.

2. Выдвиньте гипотезу, что произойдёт с воздушным шариком, вынесенным из комнаты на улицу зимой. Проведите эксперимент. Объясните наблюдаемое явление.

§ 37 ПЕРЕДАЧА ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТЯМИ И ГАЗАМИ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

Как вам уже известно, твёрдое тело передаёт оказываемое на него давление в направлении внешнего воздействия. Жидкости и газы ведут себя иначе. Отдельные слои и молекулы жидкости или газа, в отличие от твёрдых тел, могут свободно перемещаться относительно друг друга по всем направлениям. Передача давления, производимого на жидкость и газ не только в направлении действия силы, а по всем направлениям, объясняется подвижностью их частиц.



БЛЕЗ ПАСКАЛЬ

(1623—1662)

Французский учёный, открыл и исследовал ряд важных свойств жидкостей и газов. Опытами подтвердил существование атмосферного давления

Рассмотрим рисунок 103. В сосуде под поршнем, который может перемещаться вверх и вниз, находится газ (или жидкость). Частицы газа по всему объёму распределены равномерно (рис. 103, *а*). Поэтому и давление газа по всем направлениям одинаково.

Передвинув поршень вниз, сожмём находящийся непосредственно под ним газ. При этом количество частиц около поршня окажется больше, чем в остальной части сосуда (рис. 103, *б*). Но вследствие подвижности частиц газа они очень скоро снова распределятся равномерно по

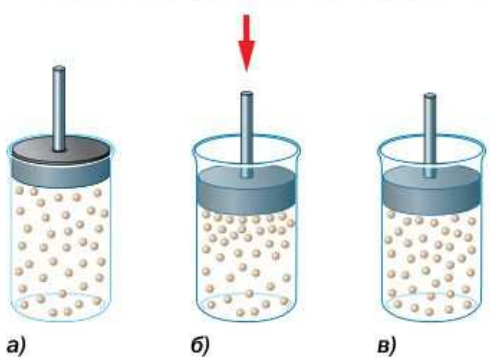


Рис. 103. Передача давления частицам газа (или жидкости) вследствие движения молекул

всему объёму сосуда и окажутся ближе друг к другу, чем раньше (рис. 103, *в*). Поэтому давление увеличится, но по всем направлениям будет одинаково.

Давление, оказываемое на жидкость или газ, передаётся ими по всем направлениям без изменения.

Это утверждение впервые сформулировал Паскаль, поэтому его называют ***законом Паскаля.***

Подтверждением этого закона является сферическая форма пузырьков воздуха в воде, мыльных пузырей. Когда надувают воздушный шар, он раздувается по всем направлениям, хотя воздух поступает направленно.

Действие закона Паскаля можно продемонстрировать с помощью прибора, называемого шаром Паскаля. Он представляет собой стеклянную трубку с поршнем, на которой укреплён полый шар с узкими отверстиями по всей поверхности (рис. 104). Если шар заполнить водой и нажать на поршень, то из отверстий по всей поверхности шара будут вытекать одинаковые струйки воды (рис. 104, *а*). Давление на воду, создаваемое поршнем, передалось воде внутри шара. Таким образом, давление на жидкость возросло, и она стала вытекать из всех отверстий с одинаковой скоростью.

Подобный опыт можно провести и с газом, например с воздухом. При нажатии на поршень струйки воздуха начнут выходить из всех отверстий шара. Чтобы сделать эти струйки видимыми, в воздух добавляют дым (рис. 104, *б*). То, что струйки одинаковы, доказывает, что давление не только передаётся по всем направлениям, но и имеет одинаковое значение.

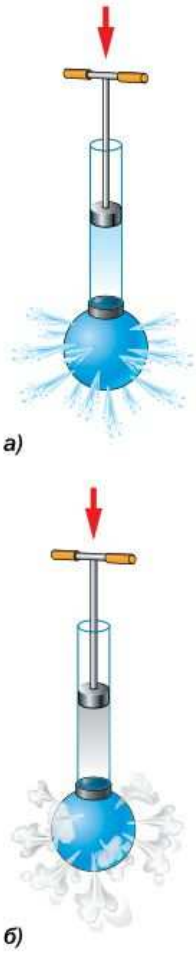


Рис. 104. Передача давления во все стороны без изменений:
а — жидкостями;
б — газами

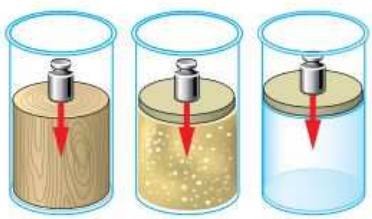


1. Опишите процесс передачи давления жидкостями и газами. 2. Сформулируйте закон Паскаля. Почему он справедлив только для жидкостей и газов? 3. Опишите опыт, на котором можно показать особенность передачи давления жидкостями и газами. 4. Какое физическое явление используют при изготовлении бутылок из расплавленного стекла (см. рис. 31)?

УПРАЖНЕНИЕ 21

1. На твёрдое тело, песок и воду подействовали с одинаковой силой (рис. 105). Объясните, в чём разница при передаче давления этими телами.
2. Сравните давление газа в двух сосудах (рис. 106). В каком сосуде давление меньше, если массы и температуры газов одинаковы? Ответ обоснуйте.
3. Почему взрыв снаряда под водой губителен для живущих в воде организмов?

4*. Выполняется ли закон Паскаля на орбитальной космической станции?



а) б) в)

Рис. 105



Рис. 106



Рис. 107

ЗАДАНИЕ 27

1. Выдуйте несколько мыльных пузырей. Обратите внимание на их форму при выдувании и после отрыва. Объясните наблюдаемое явление.
2. Изготовьте прибор для демонстрации закона Паскаля.

   Указание. Можно использовать пластиковую бутылку с пробкой.
3. Проделайте опыт, показанный на рисунке 107. Зарисуйте или сфотографируйте результаты опыта при различном сжатии шарика, дайте им объяснение.

Это любопытно...

Пневматические машины и инструменты

Способность газов передавать давление используют в технике при создании различных устройств, работающих на сжатом воздухе, — пневматических машин (от греч. *пневма* — дуновение, дыхание).

Если раньше для разрушения бетонного или асфальтового покрытия использовались такие инструменты, как зубило и молоток, то сегодня их заменил *отбойный молоток*.

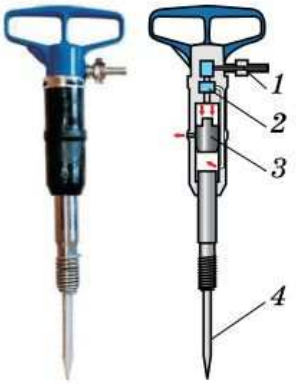


Рис. 108. Внешний вид и устройство пневматического отбойного молотка

Общий принцип работы пневматического отбойного молотка (рис. 108) можно описать следующим образом. Сжатый воздух от компрессора подают по шлангу *1*. Особое устройство *2*, называемое золотником, направляет его поочерёдно то в верхнюю, то в нижнюю часть цилиндра. Поэтому воздух то с одной, то с другой стороны давит на поршень *3*, что вызывает его быстрое возвратно-поступательное движение. Поршень воздействует на рабочие насадки молотка, в результате пика *4* внедряется в грунт, уголь и т. п. и откалывает его куски.

Существуют специальные аппараты, применяемые для покраски стен, где краску распыляет сжатый воздух. Подобные устройства используют на садовых участках для опрыскивания растений при борьбе с болезнями и вредителями.

Сжатый воздух применяют для открывания дверей вагонов в общественном транспорте, в пневматических тормозах. На рисунке 109 показана схема устройства пневматического тормоза железнодорожного вагона. В обычной ситуации магистраль *1*, тормозной цилиндр *4* и резервуар *3* заполнены сжатым воздухом. Давление газа на поршень тормозного цилиндра справа и слева одинаково, тормозные колодки *5* не соприкасаются с колёсами *6*.

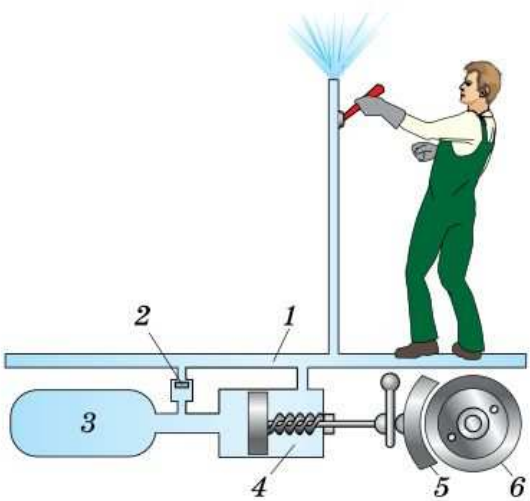


Рис. 109. Устройство пневматического тормоза

Если открыть стоп-кран, сжатый воздух вырвется из магистральной трубы, что приведёт к уменьшению давления в правой части тормозного цилиндра. Из левой части этого цилиндра и резервуара сжатый воздух не выпустит клапан *2*. Под давлением сжатого воздуха поршень в тормозном цилиндре начнёт двигаться вправо, прижимая тормозную колодку к ободу колеса, что вызовет торможение.

Для того чтобы отжать тормозные колодки, необходимо вновь наполнить магистральную трубу сжатым воздухом.



Можно ли в описанных устройствах применять вместо воздуха воду? Почему?

§ 38 ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ И ГАЗЕ, ВЫЗВАННОЕ ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

В предыдущем параграфе был рассмотрен опыт, когда на жидкость действовала сила со стороны поршня. При этом жидкость передавала давление по всем направлениям. Однако в обычных земных условиях давление существует в жидкости, даже когда мы не прикладываем к её поверхности внешние силы. Это происходит из-за того, что на жидкость действует сила тяжести.

Притягиваясь к Земле, верхние слои жидкости оказывают давление на слои жидкости, расположенные под ними. Те, в свою очередь, притягиваясь к Земле, оказывают давление на слои, расположенные ниже, а кроме того, передают им давление верхних слоёв не только вниз, но и в соответствии с законом Паскаля по всем направлениям. Таким образом, чем глубже слой жидкости, тем больше в нём давление.

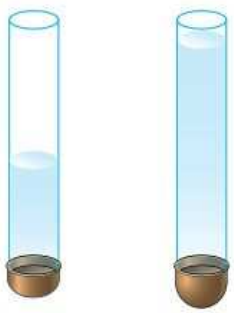


Рис. 110. Прогибание плёнки при увеличении столба воды

Существование давления внутри жидкости можно обнаружить с помощью несложных опытов.

Возьмём стеклянную трубку, нижнее отверстие которой закрыто тонкой резиновой плёнкой. Налив воду в трубку, увидим, что под действием веса жидкости дно трубки прогнётся (рис. 110, *а*).

Доливая воду в трубку, можно заметить, что чем выше столб воды над резиновой плёнкой, тем сильнее она прогибается (рис. 110, *б*). После того как резиновое дно прогнулось, вода в трубке останавливается, т. е. приходит в равновесие, поскольку на воду действуют сила тяжести и сила упругости растянутой резиновой плёнки.

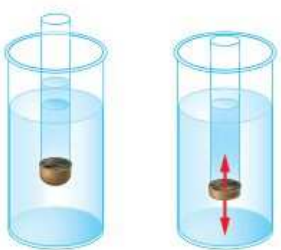
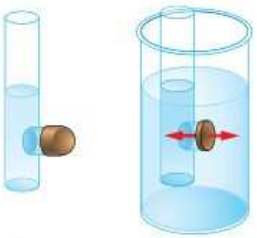


Рис. 111. Выпрямление плёнки при одинаковом уровне воды в трубке и в сосуде

Будем медленно погружать трубку с водой в более широкий сосуд, в который также налита вода (рис. 111, *а*). Мы увидим, что по мере опускания трубки в воду резиновая плёнка



а) б)

Рис. 112. Выпрямление плёнки при равенстве сил, действующих на неё с обеих сторон

начнёт выпрямляться. Полностью она выпрямится, когда действующие на плёнку сверху и снизу силы станут равны. Опыт показывает, что это произойдёт, когда уровни воды в трубке и сосуде выравняются (рис. 111, *б*).

Такой же результат можно получить, если провести аналогичный опыт с трубкой, в которой резиновая плёнка закрывает боковое отверстие (рис. 112, *а*). По мере опускания трубки в другой сосуд с водой можно заметить, что плёнка снова выпрямится, как только уровни воды в трубке и в сосуде сравняются (рис. 112, *б*). Это означает, что действующие на резиновую плёнку силы одинаковы с обеих сторон.

Опустим теперь в банку с водой сосуд, дно которого может отпадать (рис. 113, *а*). Дно при этом не отпадёт, а будет плотно прижатым к краю сосуда, так как на него действует сила давления воды, направленная снизу вверх. Будем осторожно наливать воду в сосуд. Мы заметим, что дно отпадёт от сосуда, как только уровень воды в сосуде совпадёт с уровнем воды в банке (рис. 113, *б*).



а) б)

Рис. 113. Отпадание дна сосуда под действием силы тяжести

Заменив воду в описанных опытах на любую другую жидкость, результаты получим те же.

Таким образом, **внутри жидкости существует давление, и на одном и том же уровне оно одинаково по всем направлениям. На более глубоких уровнях давление больше.**

Газы, так же как и жидкости, имеют вес. Но, поскольку плотность газа значительно меньше плотности жидкости, вес газа, находящегося в сосуде, мал. Поэтому во многих случаях давление газа, создаваемое за счёт его веса, можно не учитывать.



1. Объясните, почему чем глубже находится слой жидкости, тем больше в нём давление, вызванное силой тяжести. **2.** Опишите опыты, показывающие, что давление внутри жидкости на одном и том же уровне во всех направлениях одинаковое, а на разных уровнях разное. **3.** Почему в опыте, изображённом на рисунке 113, дно отпадает от сосуда? **4.** Приведите примеры, когда давление газа, созданное его весом, можно не учитывать.

Давление на дне морей и океанов. Исследование морских глубин

Как известно, две трети земного шара занимают воды Мирового океана. Поэтому вполне понятно, что человеку приходится не только плавать на поверхности, но и опускаться на дно морей и океанов для решения практически важных задач. Это и разведка залежей полезных ископаемых (например, нефти), и работы по подъёму затонувших судов, и работы, связанные с прокладкой туннелей под реками, морскими проливами или с укладкой электрического кабеля.



Рис. 114. Давление на дне морей и океанов

Тренированный ныряльщик может погрузиться без технических приспособлений на глубину не более 30 м. При более глубоких погружениях (до 80 м) используют *аквалангu*. С их помощью давление воздуха, которым дышит человек, доводится до значения давления воды на данной глубине. В зависимости от глубины погружения аквалангисты могут находиться под водой от нескольких минут (при глубине 40 м) до часа и более. Для работ на больших глубинах используют жёсткие водолазные костюмы (*скафандры*) (рис. 114).

Водолазы могут осуществлять под водой самые разные работы: проводить осмотр и ремонт подводной части корабля, готовить к подъёму затонувшие суда, производить сварку, бурение скважин и т. д. Но больше чем на 250 м человек даже в жёстком скафандре погружаться не может.

Давление воды в морских глубинах очень большое. Например, подводная лодка, погружённая на 100 м под воду, испытывает давление 1 МПа.

Для исследования больших глубин применяют *батисферы* и *батискафы* (см. рис. 114). Батисфера — это стальной полый шар, способный выдержать огромное давление воды в глубине морей и океанов. Небольшие окна-иллюминаторы сделаны из прочного стекла. Слои воды освещаются прожектором. Батисферу опускают с корабля на стальном тросе. Глубина, на которую удалось опуститься в батисфере, достигает почти одного километра. Давление воды на такой глубине 10 МПа.

Батискафы способны опускаться на глубины более 10 км. Они состоят из очень прочного экипажного отсека (гондолы), укреплённого внизу огромной ёмкости, заполненной бензином. Батискаф снабжён запасом балласта и моторами, приводящими в движение гребные винты, с помощью которых он, в отличие от батисферы, способен самостоятельно передвигаться. Для погружения в пустые балластные цистерны впускается вода. Для всплытия экипаж сбрасывает балласт.

В самой глубокой морской впадине — Марианской (10 900 м) — давление воды около 110 МПа. Примерно такое же давление оказывает остриё кнопки при действии на неё силы 10 Н.



Используя содержащуюся в тексте информацию, выдвиньте гипотезу, как зависит давление воды p от глубины погружения h. Запишите связь между p и h в виде формулы.

§ 39 РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ДНО И СТЕНКИ СОСУДА

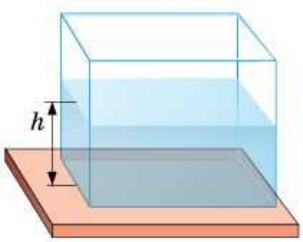


Рис. 115. Определение давления жидкости на дно и стенки сосуда

Определим давление жидкости на дно сосуда. Возьмём сосуд в форме прямоугольного параллелепипеда, заполненный водой (рис. 115).

Высоту столба жидкости, находящейся в сосуде, обозначим буквой h, площадь дна — S. Давление равно отношению силы, действующей на дно, к его площади. Сила F, с которой жидкость, налитая в сосуд, давит на его дно, — это вес жидкости P. Вес жидкости равен силе тяжести $P = gm = mg$. В итоге давление воды на дно сосуда равно

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

Массу жидкости вычислим по формуле $m = \rho V$. Объём налитой в сосуд жидкости $V = Sh$.

Используя математические преобразования, получим формулу для расчёта давления жидкости:

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

т. е.

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

$\boldsymbol{p = \rho gh}$

Анализируя формулу, можно сделать вывод, что *давление жидкости на дно сосуда зависит от плотности жидкости и высоты столба жидкости*, но не зависит от площади дна сосуда.

Оказывается, по выведенной формуле можно рассчитывать давление жидкости, налитой в сосуд любой формы. По закону Паскаля на одной глубине жидкость оказывает одинаковое давление по всем направлениям. Поэтому если в любой точке на глубине h поместить маленькую плоскую пластинку, то независимо от того, как она ориентирована, давление жидкости на её грань будет также определяться по формуле $p = \rho g h$. По этой же формуле определяется и давление жидкости на стенки сосуда в любой точке на уровне h.

Пример. В цилиндр налита ртуть, высота столба которой 0,15 м. Определите давление ртути на дно цилиндра.

По таблице 4 найдём, что плотность ртути равна 13 600 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**Решение:**
$h = 0{,}15$ м $\rho = 13\,600\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $g = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	Давление ртути на дно цилиндра: $p = \rho g h$, $p = 13\,600\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0{,}15\ \text{м} =$
p — ?	$= 20\,400\ \text{Па} = 20{,}4\ \text{кПа}$.

Ответ: $p = 20{,}4$ кПа.

1. Чем определяется давление жидкости на дно сосуда? **2.** Почему для расчёта давления жидкости на дно и стенки сосуда можно использовать одну и ту же формулу? **3.** Как рассчитать давление внутри жидкости на глубине h?

УПРАЖНЕНИЕ 22

1. Вычислите давление жидкости плотностью 1800 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ на дно сосуда, если высота столба жидкости 0,1 м.
2. На сколько давление воды на глубине 10 м больше, чем на глубине 1 м?



Рис. 116

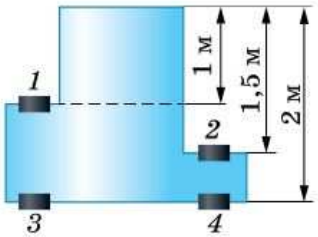


Рис. 117

3. В ёмкости, наполненной нефтью до верха, на расстоянии 140 см от крышки имеется кран (рис. 116). Определите давление на кран.

4*. Сосуд, имеющий форму, показанную на рисунке 117, заполнен водой. Рассчитайте давление на каждую из четырёх пробок.

5. В сосуд налиты две несмешивающиеся жидкости, одна поверх другой. Высота каждого слоя 3 см. Найдите давление жидкости на расстоянии 2 см от дна сосуда, если внизу находится вода, а сверху — машинное масло.

ЗАДАНИЕ 28

1. Возьмите пластиковую бутылку объёмом 1,5—2 л (или высокий сосуд). На одной вертикали проткните несколько отверстий. Заполните бутылку водой. Наблюдайте за вытекающими струями. Зарисуйте или сфотографируйте наблюдаемую картину. Объясните её.

2. Возьмите пластиковую бутылку. Отрежьте её дно и отвинтите крышку. По диаметру горлышка вырежьте кружочек из плотной бумаги или тонкого картона. Через центр кружочка проденьте нить с узелком на конце. Длина нити должна быть больше высоты бутылки. Нить пропустите через бутылку. Удерживая кружок прижатым к горлышку с помощью нити, опустите бутылку в воду горлышком вниз. Отпустите нить. Вы заметите, что кружок удерживается на месте за счёт давления воды снизу. Тонкой струёй по стенке наливайте воду в бутылку, не меняя её положения. Заметьте, при какой высоте столба воды в бутылке кружок отпадёт от неё. Что демонстрирует этот опыт?

Это любопытно...

Гидростатический парадокс

Давление на данной глубине в жидкости зависит только от высоты столба жидкости и её плотности. Следовательно, если сосуды имеют одинаковую площадь дна, то при одном и том же уровне жидкости силы давления жидкости на дно сосудов будут одинаковы (независимо от формы сосуда и соответственно массы жидкости).

Этот вывод можно подтвердить с помощью опыта, изображённого на рисунке 118. Дном каждого сосуда является укреплённая в стойке прибо-

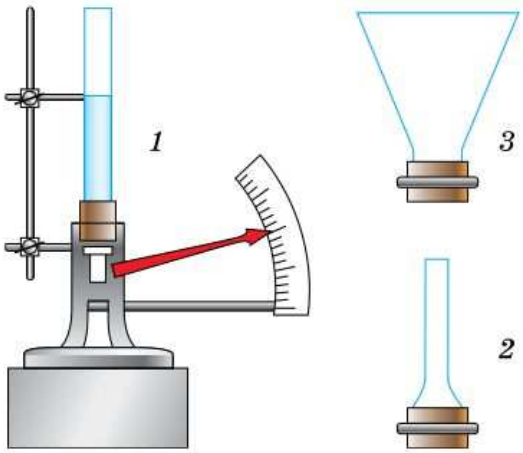


Рис. 118. Экспериментальная проверка гидростатического парадокса

ра резиновая плёнка. Под действием жидкости, налитой в сосуд, плёнка прогибается, и её движение передаётся стрелке. Стрелка при этом перемещается вдоль шкалы прибора, указывая на изменение давления жидкости на дно.

Укрепляя в приборе поочерёдно все три сосуда и наливая жидкость до одного и того же уровня, можно увидеть, что стрелка останавливается на одном и том же делении шкалы. Это означает, что сила давления на дно одинакова для всех сосудов, несмотря на разный вес налитой жидкости.

В этом заключается явление, получившее название «гидростатический парадокс».

Вес жидкости, налитой в сосуд, может отличаться от силы давления, оказываемой ею на дно сосуда. Так, сила давления на дно сосуда *2* больше веса жидкости, а на дно сосуда *3* меньше. В сосуде *1* обе силы одинаковы.



1. Как объяснить, что вес жидкости может отличаться от силы давления жидкости на дно сосуда?

2. Возьмём сосуды такие же по форме и объёму, как сосуды *2* и *3* (см. рис. 118), наполним их водой и поставим на чаши весов. Будут ли весы в равновесии? Аргументируйте свой вывод и проверьте его на опыте.

§ 40 СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ

Возьмём две стеклянные трубки, соединённые резиновой трубкой. Зажмём резиновую трубку в середине и нальём воду в одну из трубок (рис. 119, *а*). Открыв зажим, мы увидим, что вода переливается в другую трубку, причём

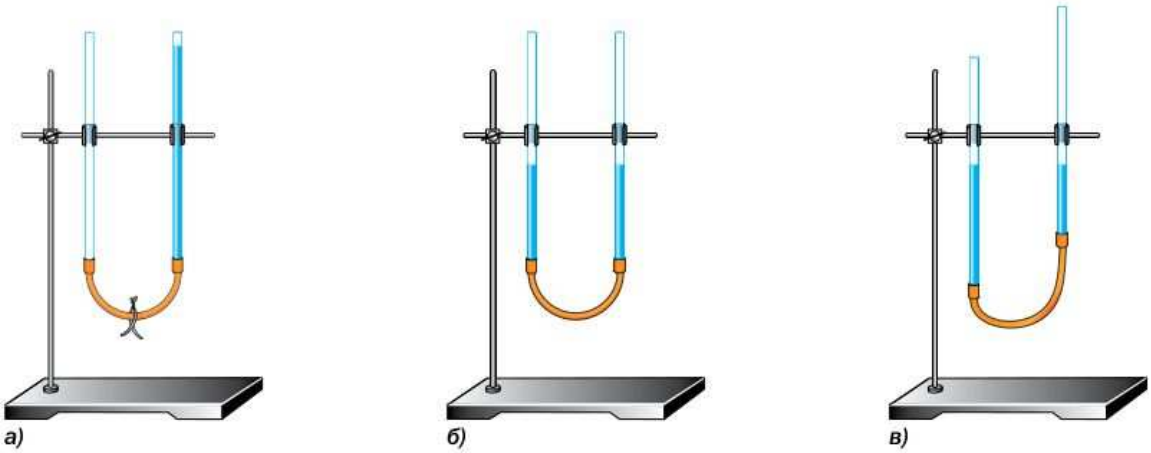


Рис. 119. Установление уровня жидкости в сообщающихся сосудах



Рис. 120. В сообщающихся сосудах жидкость устанавливается на одном уровне

до тех пор, пока уровень воды в трубках не установится одинаковый (рис. 119, *б*). Поднимем правую трубку, увидим, что уровень воды в обеих трубках одинаковый (рис. 119, *в*). Как бы мы ни смещали трубки относительно друг друга, поверхность воды в них установится на одном уровне.

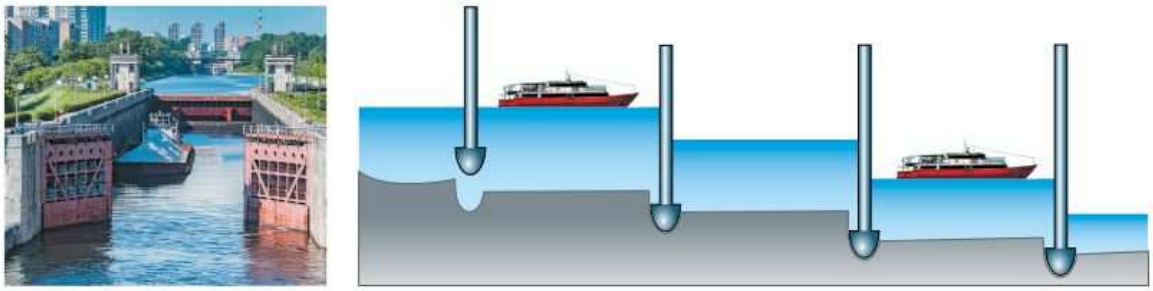


Рис. 121. Прибор, демонстрирующий установление одинакового уровня жидкости в сообщающихся сосудах

Сосуды такого рода называют *сообщающимися*. Часто используемые чайник, кофейник, лейка — сообщающиеся сосуды. Как мы убедились из опыта, уровень воды, налитой, например, в лейку, в её резервуаре и в носике одинаковый (рис. 120).

В сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне независимо от формы и размеров сосуда (рис. 121).

В этом заключается ***закон сообщающихся сосудов***. Объяснить его можно следующим образом. Жидкость покоится, не перетекает из одного сосуда в другой (см. рис. 119, *б*), следовательно, давление столбов жидкости слева и справа одинаково. Давление столба жидкости зависит от его высоты и плотности. Поскольку



а) *б)*

Рис. 122. Шлюз: *а* — внешний вид; *б* — схема шлюзования судов

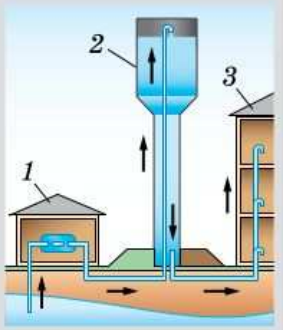


Схема устройства водопровода: *1* — насосная станция; *2* — водонапорная башня; *3* — дом

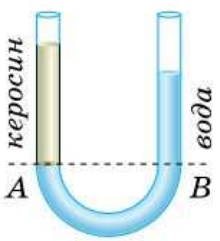


Рис. 123. Жидкости разной плотности устанавливаются на разных уровнях

жидкость одна и та же, то высота столбов жидкости в сосудах должна быть одинаковой.

Когда мы поднимаем одну трубку (см. рис. 119, *в*) (или доливаем в неё жидкость), то увеличивается высота уровня жидкости, а следовательно, и давление. Вода перемещается в другую трубку до тех пор, пока давление столбов жидкости не станет одинаковым.

Закон сообщающихся сосудов используется в устройстве водопровода, в системе шлюзов, которые воздвигаются для прохода судов в обход плотин гидроэлектростанций (рис. 122).

Если в сообщающиеся сосуды налить жидкости с различной плотностью (рис. 123), то они установятся в сосудах на разном уровне, т. е. разной будет высота столбов над уровнем раздела разнородных жидкостей AB. Объяснить это довольно просто. На уровне AB давления столбов жидкостей одинаковы. Мы знаем, что давление жидкостей можно рассчитать по формуле $p = \rho gh$, а так как плотности жидкостей не равны, то не равны и высоты столбов этих жидкостей.

Высоты столбов жидкости в сообщающихся сосудах (измеряемые от уровня, разделяющего жидкости) обратно пропорциональны плотностям этих жидкостей.

1. Какие сообщающиеся сосуды есть у вас дома? **2.** Как в сообщающихся сосудах располагаются поверхности однородной жидкости; разнородных жидкостей? **3.** Объясните, почему в сообщающихся сосудах однородные жидкости устанавливаются на одном уровне.

1. Используя рисунок 122, объясните, как работает шлюз.

2. Что общего в принципе работы водопровода и шлюза? Почему при малоэтажном строительстве напор воды на верхних этажах домов меньше, чем на нижних?

УПРАЖНЕНИЕ 23

1. Будет ли уровень жидкостей одинаков, если в сосуды (см. рис. 121) налить ртуть, керосин, масло и воду?

2. Объясните, как работает водомерное стекло, показанное на рисунке 124. Подумайте, для чего используют водомерные стёкла.

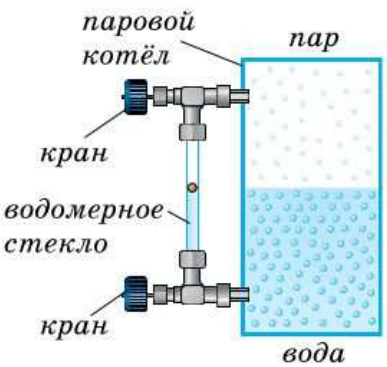


Рис. 124

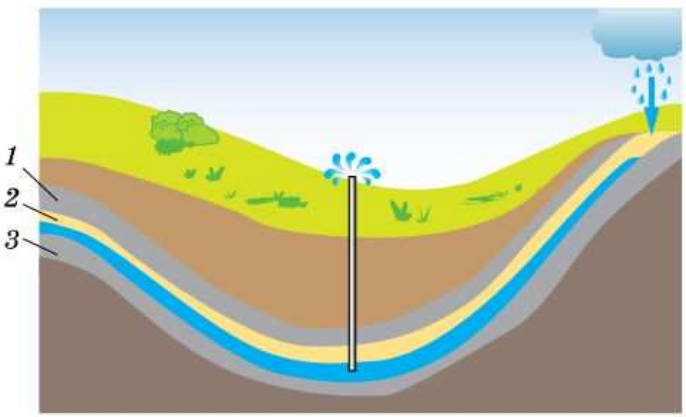


Рис. 125

3. Объясните действие артезианской скважины, изображённой в разрезе на рисунке 125. Слой *2* состоит из песка или другой породы, легко пропускающей воду. Слои *1* и *3*, наоборот, водонепроницаемы.

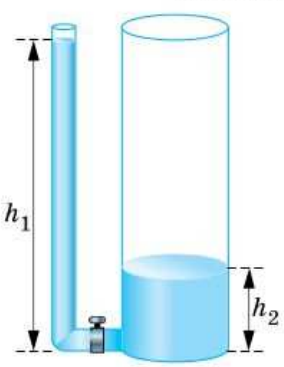


Рис. 126

4. Используя формулу для определения давления столба жидкости $p = \rho gh$, докажите, что в сообщающихся сосудах отношение высот столбов жидкостей с разными плотностями (см. рис. 123) равно обратному отношению плотностей.

5. Изменится ли расположение жидкости (см. рис. 119), если поменять размер или форму одной из трубок?

6*. В два сосуда налито разное количество воды (рис. 126). В каком сосуде давление воды на дно больше и на сколько, если $h_1 = 48$ см, а $h_2 = 14$ см? Какой уровень воды установится в сосудах после того, как кран откроют, если диаметры сосудов различаются в 4 раза?

ЗАДАНИЕ 29

- Изготовьте модель фонтана.

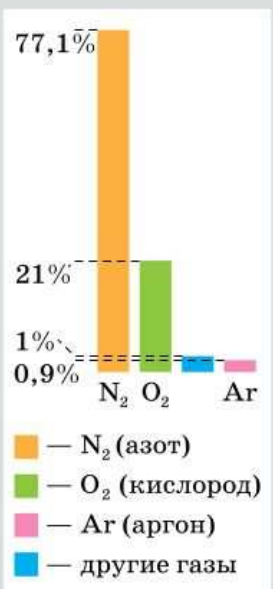
§ 41 ВЕС ВОЗДУХА. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ



Рис. 127. Шар для взвешивания воздуха

Вы уже знаете, что чем глубже погружаемся в воду, тем большее давление оказывает вода на тело. Это происходит потому, что вода имеет вес.

Воздух также обладает весом, поскольку на него, как и на всякое находящееся на Земле тело, действует сила тяжести. Зная массу воздуха, легко вычислить его вес. Массу воздуха можно определить с помощью прочного стеклянного шара с пробкой и резиновой трубкой с зажимом (рис. 127). Уравновесим шар на весах, предварительно выкачав из него воздух и зажав трубку зажимом. Если открыть зажим на резиновой трубке, то равновесие весов нарушится, шар перевесит. Это означает, что шар стал тяжелее, когда в него впустили воздух. Масса гирь, которые придётся положить на другую чашу весов, чтобы восстановить их равновесие, и будет равна массе воздуха в объёме шара.



Состав воздуха атмосферы Земли

Как вам известно из курса географии, воздушную оболочку Земли называют ***атмосферой***. Атмосфера — смесь газов. Вспомним, что молекулы газов непрерывно и беспорядочно движутся. Действие же силы тяжести на беспорядочно движущиеся молекулы газов приводит к тому, что газы не рассеиваются в окружающем Землю пространстве, а образуют воздушную оболочку Земли, т. е. атмосферу.

Вследствие действия силы тяжести верхние слои воздуха давят на нижние. Слой воздуха, находящийся непосредственно у поверхности Земли, сжат больше всего и имеет наибольшую плотность. Согласно закону Паскаля, он передаёт давление по всем направлениям. В результате вся поверхность Земли и находящиеся на ней тела испытывают давление всей толщи воздуха, которое называют ***атмосферным давлением***.



Воздушная оболочка Земли, образующаяся в результате действия силы тяжести на беспорядочно движущиеся молекулы газов

Паскаль, ***Эванджелиста Торричелли*** (1608—1647), ***Отто Герике*** (1602—1686) и другие учёные в XVII в. потратили немало сил, чтобы убедить людей в существовании атмосферного давления.

С помощью простых опытов убедимся в существовании атмосферного давления. Возьмём пластиковую бутылку без крышки, поднесём горлышко к губам и вдохнём воздух из бутылки. Бутылка с треском сожмётся. Что же заставило бутылку сжаться? Это произошло под действием давления воздуха, которое вне бутылки не менялось, а внутри бутылки уменьшилось, так как мы ртом откачали часть воздуха из неё. Впустим воздух в бутылку снова, она восстановит свою первоначальную форму.

Проделаем другой опыт. Возьмём цилиндр с хорошо притёртым поршнем (например, шприц). Закроем открытый конец пальцем. Будем выдвигать поршень, при этом необходимо приложить заметное усилие. Отпустим поршень, он возвратится назад под действием силы атмосферного давления. Она же мешала выдвижению поршня.



Рис. 128. Подъём воды вслед за поршнем

Опустим цилиндр с поршнем в сосуд с водой и начнём поднимать поршень (рис. 128). При этом между поршнем и водой образуется безвоздушное пространство, в которое поднимается вода под давлением наружного воздуха.

Использование атмосферного давления лежит в основе принципа действия автопоилки для птиц (рис. 129). Пока горлышко бутылки находится ниже уровня воды в корытце, из бутылки вода не выливается. Это значит, что атмосферное давление на открытую поверхность воды уравновешивает давление воздуха и столба воды в бутылке. Когда птица пьёт и горлышко бутылки выходит из воды, часть воды выливается из бутылки в корытце.



Рис. 129. Автопоилка для птиц

1. Что такое атмосфера? **2.** Почему молекулы газов, входящих в состав атмосферы, не падают на Землю и не покидают её? **3.** В чём причина существования атмосферного давления? **4.** Как экспериментально доказать существование атмосферного давления? **5.** Зависит ли плотность атмосферы от высоты над поверхностью Земли? Почему?

Какую роль при питье играет атмосферное давление?

УПРАЖНЕНИЕ 24

1. Объясните опыт, изображённый на рисунке 128, используя закон Паскаля.

2. Определите вес воздуха объёмом 3 м^3 (при нормальном атмосферном давлении и температуре 0 °С).

3*. Почему, находясь в походе, туристы, чтобы выпить молоко из консервной банки, делают в ней два отверстия, а не одно?

ЗАДАНИЕ 30

1. Заполните пластиковую бутылку горячей водой. Вылейте воду и сразу закройте бутылку пробкой. Что произошло с пустой бутылкой спустя некоторое время? Объясните наблюдаемое явление.

2. Если взять стеклянный сосуд с трубкой (рис. 130), откачать из него воздух, опустить трубку в воду и открыть кран, то в сосуде начнёт бить фонтан. Объясните принцип действия такого фонтана.

3. Изготовьте автопоилку для своего питомца.



Рис. 130

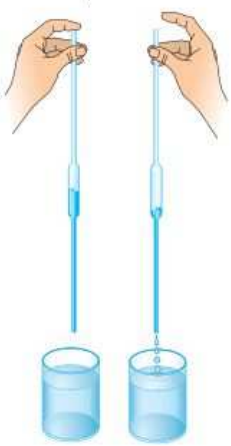


Рис. 131

4. Для взятия проб различных жидкостей часто используют прибор ливер (рис. 131). Объясните действие этого прибора.

5. Проанализируйте диаграмму «Состав воздуха атмосферы Земли», приведённую на с. 137. Используя Интернет, составьте и зарисуйте подобные диаграммы для Венеры, Марса и Юпитера. Какие выводы о биологической жизни можно сделать из этих данных?

§ 42 ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ. ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ



ЭВАНДЖЕЛИСТА ТОРРИЧЕЛЛИ

(1608—1647)

Итальянский физик и математик. Открыл существование атмосферного давления, изобрёл ртутный барометр

Каково же численное значение атмосферного давления? Как его определить?

Атмосферное давление нельзя вычислять так же, как давление в жидкости, по формуле $p = \rho gh$. Ведь плотность воздуха и ускорение свободного падения уменьшаются с высотой, и у атмосферы определённой границы нет.

Можно ли измерить атмосферное давление?

Проделаем опыт. В длинную стеклянную трубку, запаянную с одного конца, нальём доверху воды. Зажмём открытый конец трубки пальцем и, перевернув, опустим её в сосуд с водой (рис. 132). Убрав палец, увидим, что вода не вытекает из трубки.

Почему так происходит? Атмосфера давит на поверхность воды в сосуде. В каждой точке на горизонтальном уровне aa_1, в том числе и внутри трубки, давление одно и то же и равно атмосферному. Поскольку вода из трубки не вытекает, давление столба воды в трубке меньше атмосферного. Можно ли изменить опыт так, чтобы жидкость из трубки стала вытекать? Чтобы жидкость вытекала из трубки, нужно повысить давление столба жидкости. Это можно сделать, увеличив высоту столба жидкости или её плотность.

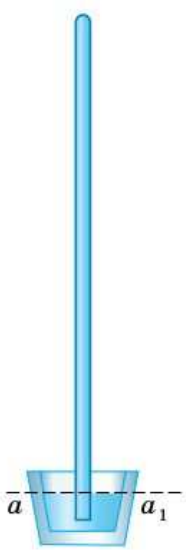


Рис. 132. Равновесие воды в трубке, находящейся в сосуде с водой

Итальянский учёный Торричелли вместо воды взял жидкость с существенно большей плотностью — ртуть. Трубку использовал высотой 1 м. Опустив трубку с ртутью в сосуд с ртутью, он обнаружил, что ртуть частично вылилась из трубки. При этом над ртутью в трубке образовалось безвоздушное пространство (рис. 133). Высота столба ртути, оставшейся в трубке, оказалась равной примерно 760 мм.

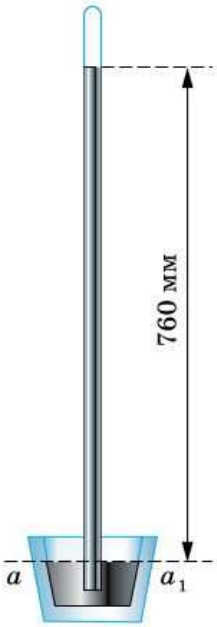


Рис. 133. Опыт Торричелли

Как по результату этого опыта определить атмосферное давление? На уровне aa_1 (см. рис. 133) давление в трубке равно атмосферному. Поскольку в верхней части трубки осталось безвоздушное пространство, **атмосферное давление равно давлению столба ртути в трубке.** Зная высоту h столба ртути его давление легко вычислить. Если $h = 760$ мм, то по формуле $p = \rho gh$ получим:

$$p = 13\,600\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0{,}76\ \text{м} =$$
$$= 101\,300\ \text{Па} = 1013\ \text{гПа}.$$

Это же значение имеет атмосферное давление.

Если атмосферное давление уменьшится, то и высота столба ртути в трубке уменьшится (часть ртути выльется в сосуд); если атмосферное давление увеличится, то и высота столба ртути в трубке увеличится (часть ртути из сосуда перейдёт в трубку).

Прибор с трубкой ртути, созданный на основе опыта Торричелли, стали использовать для измерения атмосферного давления. Такой прибор, как вам известно, называют ***ртутным барометром***. Использование ртутного барометра привело к тому, что атмосферное давление измеряют в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

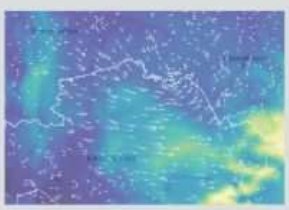
1 мм рт. ст. ≈ 133,3 Па.

Итак, при высоте столба ртути 760 мм атмосферное давление равно 1013 гПа, т. е. на квадратный метр поверхности воздух давит с силой 101 300 Н, на каждый квадратный сантиметр — 10 Н.

Площадь ладони человека примерно 100 см^2, на неё действует сила атмосферного давления, равная 1000 Н. Это равносильно тому, что на руке стоит небольшой мотоцикл. Как же мы справляемся с такой силой и почему не чувствуем её?

Всякое тело, находящееся в воздухе, испытывает давление со всех сторон. Так, снизу на кисть руки тоже действует сила атмосферного давления, равная 1000 Н. В результате силы, действующие на ладонь и тыльную часть кисти, взаимно уравновешиваются. Не ощущаем же мы атмосферное давление из-за того, что внутри человека существует давление, равное атмосферному.

Атмосферное давление играет важную роль для жизни на Земле. Из курса географии вам известно, что с распределением атмосферного давления связаны направление и сила ветров. Разность давлений — главная причина в образовании ветров. Если бы не было движения масс воздуха, то дожди выпадали бы только над водными поверхностями. Передавая прогноз погоды, часто показывают карту, на которой отмечено изменение атмосферного давления. Вы, видимо, обращали внимание на области самого низкого и самого высокого давления (на экране они окрашены в разные цвета).



Области высокого и низкого давления на карте

1. Можно ли давление воздуха рассчитывать по формуле $p = \rho gh$? Ответ обоснуйте. 2. Опишите опыт, с помощью которого можно измерить атмосферное давление. 3. Атмосферное давление равно 770 мм рт. ст. Что это означает? 4. Какие единицы атмосферного давления вам известны?

Используя знания из географии и материал параграфа, объясните, что представляет собой ветер. От чего зависит сила и направление ветра?

УПРАЖНЕНИЕ 25

1. Столб воды какой высоты создаёт давление, равное 760 мм рт. ст.?
2. Вычислите силу атмосферного давления на поршень шприца площадью 3 см^2. Атмосферное давление равно 100 кПа.
3. Выразите в гектопаскалях давление: 1 мм рт. ст.; 730 мм рт. ст.; 770 мм рт. ст.

4*. Площадь дна кастрюли 1000 см^2. Какое давление будет испытывать дно открытой кастрюли, если в неё налить 3 кг воды?

ЗАДАНИЕ 31

1. Если стакан с водой накрыть листом бумаги и, придерживая бумагу рукой, перевернуть, то бумага не отпадает после того, как рука убрана, и вода не вытекает (рис. 134). Почему?



Рис. 134

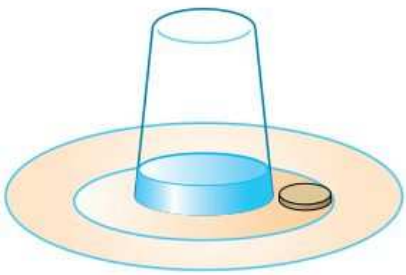


Рис. 135

2*. В мелкую тарелку положили монету и налили воду, чтобы она лишь прикрывала монету. Используя рисунок 135, придумайте, как достать монету, не замочив рук.

Это любопытно...

История открытия атмосферного давления

После смерти Галилея Торричелли стал придворным математиком герцога Тосканы. Он должен был консультировать инженеров, проводивших во Флоренции водопровод, устраивавших в саду герцога фонтаны и возводивших различные гидротехнические сооружения.

У инженеров нередко возникали вопросы, с которыми они обращались к Торричелли. Им казалось, например, непонятным, почему всасывающим насосом можно поднять воду не выше 18 локтей (около 10 м). Ещё Галилей знал об этом явлении, но не мог его объяснить. Торричелли долго размышлял над этой загадкой и, наконец, понял, в чём дело. Он предположил, что вода поднимается во всасывающем насосе под давлением атмосферы. Для проверки своего предположения Торричелли провёл такой опыт. Запаянную с одного конца стеклянную трубку длиной 1 м он заполнил ртутью, зажал открытый конец трубки пальцем и опустил в чашку с ртутью. Убрав палец, Торричелли увидел, что ртуть вылилась из трубки в чашку не полностью, в трубке остался столб ртути высотой около 760 мм. Учёный заключил, что и столб воды в 10 м, и столб ртути в 760 мм удерживаются одним и тем же давлением, а именно давлением атмосферы.

Торричелли начал систематические наблюдения за высотой ртутного столба и заметил, что в зависимости от погоды уровень ртути в трубке то опускается, то поднимается, колеблясь около некоторого среднего значения. Стало очевидным, что давление атмосферы меняется в зависимости от погоды.

Узнав об исследованиях Торричелли, Паскаль решил проверить правильность его выводов. Если столб ртути поддерживается давлением воздуха, рассудил он, то на некоторой высоте над поверхностью Земли это давление должно быть меньше. По просьбе Паскаля его родственник Перье поднялся на вершину горы Пюи-де-Дом (1647 м) и убедился, что высота ртутного столба там меньше, чем у подножия горы. Так была окончательно доказана правильность заключения Торричелли о существовании атмосферного давления.

Немецкий исследователь Отто Герике, бургомистр города Магдебурга, чтобы доказать существование атмосферного давления, провёл в 1654 г. такой опыт. Из двух хорошо отшлифованных и плотно пригнанных медных полушарий выкачивали воздух, после чего к кольцам полушарий пристёгивали упряжки по 8 лошадей в каждой. Силы этих лошадей едва хватало, чтобы разнять полушария (рис. 136).



Рис. 136. Опыт О. Герике с магдебургскими полушариями



1. Как, используя результаты опыта Торричелли, оценить массу земной атмосферы? Вычислите приблизительно эту массу.

2. Как объяснить результат опыта с магдебургскими полушариями?

§ 43 БАРОМЕТР-АНЕРОИД. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ



Рис. 137. Барометр-анероид

Ртутный барометр для измерения атмосферного давления громоздкий, хрупкий и открытый, а пары́ ртути очень ядовиты. На практике более удобен металлический ***барометр-анероид*** (от греч. *анероид* — безжидкостный). Он был изобретён в Германии в 1760 г.

На рисунке 137 изображён внешний вид одного из барометров-анероидов. Основной его деталью является герметично закрытая коробочка (камера) *1* (рис. 138). Воздух из неё откачан. А чтобы коробочку не раздавило атмосферным давлением, плоская пружина *2* оттягивает её крышку, силой упругости уравновешивая силу внешнего давления. Увеличение или уменьшение внешнего давления ведёт к большему или меньшему прогибу крышки коробочки, а следовательно, и к разной деформации плоской пружины. Какой нужно сделать коробочку в барометре-анероиде? Чтобы ответить на этот вопрос, подумайте, какая металлическая линейка под действием одной и той же силы прогибается больше — длинная или короткая? Конечно, длинная, значит, коробочку нужно сделать с максимально длинными крышкой и основанием, чтобы она чутко реагировала даже на небольшие изменения давления. Чтобы прибор не получился очень большим, коробочку делают гофрированной.

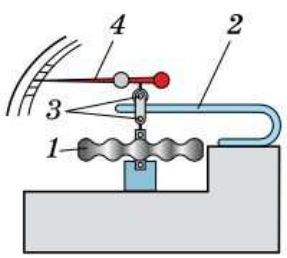
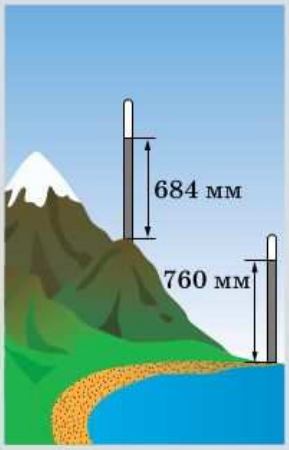


Рис. 138. Устройство барометра-анероида

Плоская пружина *2* с помощью специального механизма *3* связана со стрелкой-указателем *4*.

При увеличении атмосферного давления крышка коробочки прогибается и тянет за собой пружину, при уменьшении давления пружина выпрямляет крышку. Стрелка при этом перемещается по шкале влево или вправо. Ба-



Уменьшение атмосферного давления с высотой

рометр-анероид градуируется по показаниям ртутного барометра и обычно имеет две шкалы. Значения атмосферного давления наносятся на шкалы в миллиметрах ртутного столба и в гектопаскалях (см. рис. 137). Для удобства пользования барометр снабжается второй стрелкой (красной), которую пользователь устанавливает на обычное для данной местности значение.

Изменение атмосферного давления связано с изменением погоды. Однако для предсказания погоды недостаточно иметь данные только об изменении давления, нужно учитывать силу и направление ветра, влажность воздуха и т. д. Поэтому надписи «буря», «ясно», «осадки» и т. д. на шкалах современных барометров не ставятся.

Паскалем была установлена связь между высотой над уровнем моря и атмосферным давлением. Чем больше высота над уровнем моря, тем меньше атмосферное давление.

Почему существует такая зависимость? Дело в том, что при удалении от поверхности Земли уменьшается высота столба воздуха, который оказывает давление. Как вам известно, с увеличением высоты убывает плотность воздуха: он становится всё более и более разреженным. Поэтому давление с высотой убывает неравномерно.

Измерения атмосферного давления в местности, лежащей на уровне моря, показывают, что оно равно примерно 760 мм рт. ст.

Атмосферное давление, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С, называют нормальным атмосферным давлением.

Нормальное атмосферное давление равно

760 мм рт. ст. = 101 300 Па = 1013 гПа.

При небольших подъёмах (до высоты 2000 м) давление уменьшается в среднем на 1 мм рт. ст. (на 133,3 Па) на каждые 10,5 м подъёма. При дальнейшем удалении от поверхности Земли атмосферное давление снижается медленнее. На-



а) *б)*

Рис. 139. Высотомер:
а — механический;
б — электронный

пример, на высоте Останкинской телебашни (540 м) атмосферное давление составляет 94 880 Па, на Эвересте (8848 м) — 31 500 Па.

По изменению показаний барометра на различных высотах можно судить о высоте подъёма над поверхностью Земли. Барометром-анероидом со специальной шкалой, применяемым, например, в авиации, можно измерять высоту. Этот прибор называют ***высотомером*** (рис. 139).

1. Каково устройство и принцип действия барометра-анероида? **2.** В каких единицах градуируют шкалы барометра-анероида? **3.** Объясните, почему атмосферное давление уменьшается с увеличением высоты подъёма над уровнем моря. **4.** Какое давление называют нормальным атмосферным давлением? **5.** Что такое высотомер?

К динамометру подвешена тонкостенная трубка ртутного барометра. Что показывает динамометр? Будут ли меняться его показания при изменении внешнего давления?

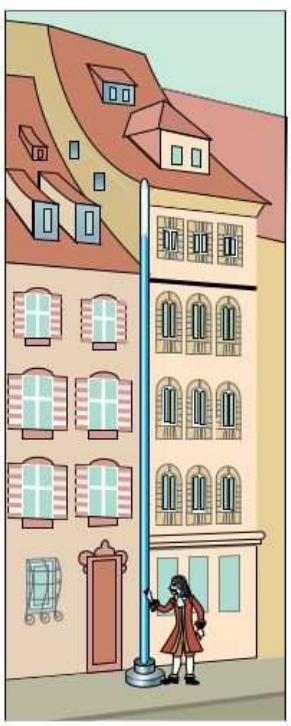


Рис. 140

УПРАЖНЕНИЕ 26

1. Запишите показания барометра-анероида (см. рис. 137) по каждой шкале с учётом абсолютной погрешности измерений, равной половине цены деления шкалы прибора.
2. Почему объём воздушного шарика, наполненного гелием, увеличивается при подъёме от поверхности Земли?
3. Рассчитайте высоту столба воды в водяном барометре, созданном Паскалем в 1646 г. (рис. 140). Атмосферное давление считать нормальным.
4. У подножия горы барометр показывает 1013 гПа, а на вершине — 962 гПа. Какова примерно высота горы?
5. Лётчик поднял самолёт на высоту 2 км. Как изменилось показание барометра?
6. Вычислите, с какой силой давит воздух на крышку стола длиной 1 м и шириной 60 см при нормальном атмосферном давлении.



Открытый жидкостный манометр

В различных системах давление жидкостей и газов может быть как больше, так и меньше атмосферного. В этих случаях давление измеряют ***манометрами*** (от греч. *манос* — редкий, неплотный, *метрео* — измеряю). Они бывают *жидкостные* и *металлические*.

Действие ***открытого жидкостного манометра*** основано на свойстве сообщающихся сосудов и законе Паскаля. Он состоит из U-образной стеклянной трубки, частично наполненной какой-либо жидкостью. Для определения давления в сосуде его соединяют резиновой трубкой с одним коленом прибора. Если на поверхность жидкости в обоих коленах трубки действует одинаковое давление, например только атмосферное, то жидкость устанавливается в коленах на одном уровне.

Рассмотрим, как работает такой манометр.

Возьмём круглую плоскую коробку, одна сторона которой затянута резиновой плёнкой, и соединим её с манометром (рис. 141). Слегка надавив пальцем на плёнку, мы увидим, что уровень жидкости в левом колене манометра опустился, в правом — повысился. Если надавить на плёнку сильнее, то разность уровней жидкости в коленах станет больше.

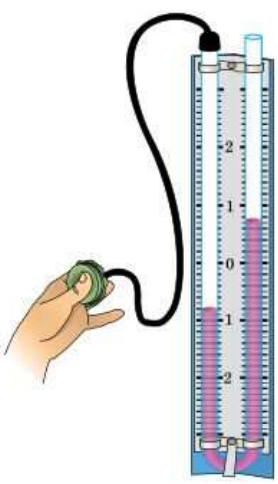


Рис. 141. Изменение уровня жидкости в коленах манометра

Объясняется это тем, что давление воздуха в коробке увеличивается при надавливании на плёнку. Это увеличение давления передаётся жидкости в левом колене манометра. Поэтому давление на жидкость в нём будет больше, чем в правом колене, и начнётся перемещение жидкости. При этом в колене с меньшим давлением столб жидкости поднимется. Когда давление воздуха в левом колене манометра уравновесится избыточным давлением жидкости и атмосферным давлением в правом колене, жидкость остановится.

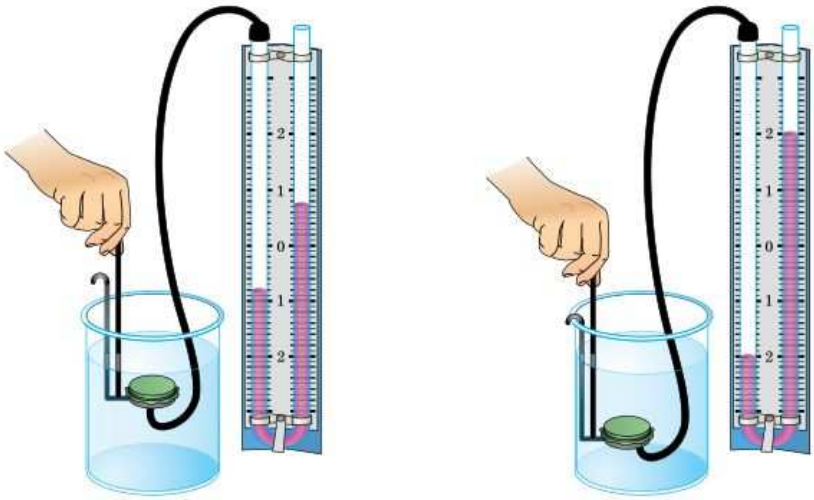


Рис. 142. Измерение давления жидкостным манометром

Следовательно, *о разнице между неизвестным давлением и атмосферным можно судить по высоте избыточного столба жидкости*, т. е. разности уровней жидкости в коленах манометра.

Опустим коробочку в воду (рис. 142) и будем погружать внутри жидкости на разную глубину. Показания манометра при этом будут меняться. *На глубине разность высот столбов жидкости в коленах манометра больше*, следовательно, и *давление жидкость производит большее*.



Рис. 143. Металлический манометр

Рассмотрим устройство ***металлического манометра*** (рис. 143). Основным его элементом является дугообразная металлическая трубка *1* (рис. 144). Один конец этой трубки запаян, другой конец с помощью крана *4* подсоединяется к системе, в которой необходимо измерить давление. При увеличении давления трубка будет выпрямляться. В результате движение её закрытого конца при помощи рычага *5* и зубчатой передачи *3* приводит в движение стрелку *2* около шкалы прибора.

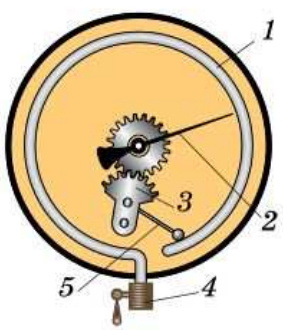


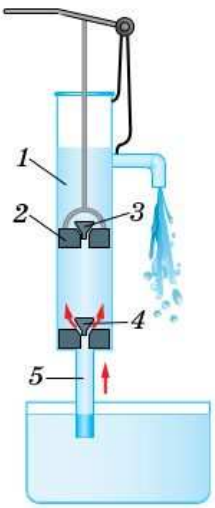
Рис. 144. Устройство металлического манометра

При уменьшении давления трубка стремится принять прежнюю форму, а стрелка при этом возвращается к нулевому делению шкалы.

Металлические манометры, так же как и жидкостные, применяют для измерения давления жидкостей и газов.



а)



б)

Рис. 145. Колонка с поршневым жидкостным насосом: *а* — внешний вид; *б* — устройство

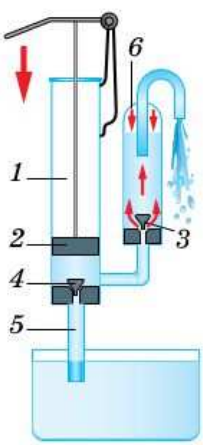


Рис. 146. Поршневой жидкостный насос с воздушной камерой

Действие атмосферного давления используется в ***поршневом жидкостном насосе*** (рис. 145, *а*).

Схематически насос изображён на рисунке 145, *б*. Его основными элементами являются цилиндр *1*, прилегающий к его стенкам поршень *2*, нагнетательный *3* и всасывающий *4* клапаны, открывающиеся только вверх.

При движении поршня вверх давление под поршнем понижается, и нагнетательный клапан закрывается. Благодаря действию атмосферного давления вода поднимает всасывающий клапан и по всасывающей трубе *5* поступает в цилиндр насоса.

При движении поршня вниз под давлением воды, находящейся под поршнем, всасывающий клапан закрывается, одновременно открывается нагнетательный клапан, и вода переходит в пространство над поршнем. Затем поршень опять движется вверх, а вода, находящаяся над ним, выливается в отводящую трубу. Одновременно за поршнем поднимается новая порция воды, и процесс повторяется.

Высота, на которую можно поднять воду таким насосом, определяется атмосферным давлением. При нормальном атмосферном давлении предельная высота поднятия воды примерно равна 10 м. Действительно, нормальное атмосферное давление равно 760 мм рт. ст., а так как плотность воды в 13,6 раза меньше плотности ртути, то предельная высота поднятия воды $h_{max} = 760 \text{ мм} \cdot 13{,}6 = 10\,336 \text{ мм} \approx \approx 10{,}3 \text{ м}$.

Поршневые насосы с воздушной камерой (рис. 146) позволяют поднять воду на бóльшую высоту. Основные элементы такого насоса не отличаются от элементов поршневого насоса, за исключением одного дополнения. Как вы можете догадаться по названию, в этой модификации поршневого насоса имеется воздушная камера *6*, давление воздуха в которой может превышать атмосферное давление в несколько раз. При этом напор и высота подъёма жид-

кости зависят от быстроты движения поршня в цилиндре и скорости поступления воды в воздушную камеру.

1. Какие вы знаете приборы для измерения давления, большего или меньшего, чем атмосферное? **2.** Каковы устройство и принцип действия открытого жидкостного манометра? **3.** Как с помощью жидкостного манометра показать, что давление жидкости на одной глубине по всем направлениям одинаково? **4.** Каковы устройство и принцип действия металлического манометра? **5.** На каком явлении основано действие поршневого жидкостного насоса? Каков принцип его действия? **6.** Объясните принцип работы поршневого жидкостного насоса с воздушной камерой (см. рис. 146).

УПРАЖНЕНИЕ 27

1. Рассчитайте предельную высоту, на которую поршневым жидкостным насосом (см. рис. 145) вручную можно поднять при нормальном атмосферном давлении нефть; ртуть.
2. На уровне моря при помощи всасывающего поршневого насоса можно поднять воду до высоты 10 м. На какую высоту можно поднять воду на горе, где давление 600 мм рт. ст.?

§ 45 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС

Закон Паскаля позволяет объяснить действие важного технического устройства — ***гидравлической машины*** (от греч. *гидравликос* — водяной).

Рассмотрим принцип её работы. Любая гидравлическая машина состоит из двух цилиндров разного диаметра, соединённых в нижней части трубкой, с плотно прилегающими к их стенкам поршнями (рис. 147). Цилиндры и трубка заполнены маслом. Пока на поршни не действуют силы, в обоих цилиндрах высоты столбов жидкости одинаковы.

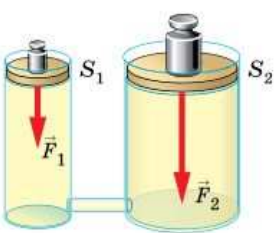


Рис. 147. Принцип действия гидравлической машины

Подействуем на малый поршень площадью S_1 силой F_1. Внутри цилиндра под поршнем создаётся давление $p = \frac{F_1}{S_1}$. Это давление, согласно закону Паскаля, передаётся по всем направлениям без изменения. Поэтому на большой поршень оказывается такое же давле-

ние p. Так как площадь большого поршня S_2, то жидкость будет действовать на него с силой $F_2 = pS_2 = F_1\frac{S_2}{S_1}$. Именно такую силу нужно приложить к большому поршню (например, поставить на него гирю), чтобы он остался в покое. Последнее равенство можно записать как

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

Поскольку $S_2 > S_1$, то сила F_2 будет больше F_1, т. е. чем больше площадь поршня, тем больше сила давления, действующая на него.

Сила, действующая на большой поршень гидравлической машины, больше силы, действующей на малый поршень, во столько раз, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого.

Например, подействуем на малый поршень площадью $S_1 = 2$ см^2 силой $F_1 = 240$ Н. Тогда на большой поршень площадью $S_2 = 120$ см^2 будет действовать сила давления $F_2 = 240 \text{ Н} \cdot \frac{120 \text{ см}^2}{2 \text{ см}^2} = 14\,400$ Н, т. е. в 60 раз бóльшая.

Итак, используя цилиндры с поршнями разной площади, можно получить *выигрыш в силе* — действуя меньшей силой F_1, создать силу F_2, в $\frac{S_2}{S_1}$ раз бóльшую.

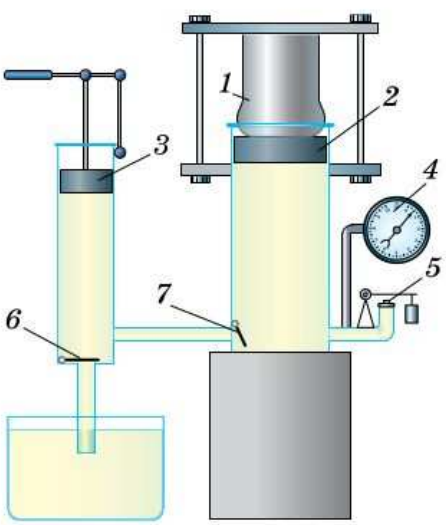


Рис. 148. Устройство гидравлического пресса

Гидравлические машины широко применяются в технике, например в гидравлических прессах, тормозах автомашин, домкратах и др.

Рассмотрим работу ***гидравлического пресса*** — устройства, предназначенного для создания высокого давления при обработке различных материалов (рис. 148).

Тело *1*, которое необходимо сжать, помещают на соединённую с большим поршнем *2* платформу. При движении



Гидравлический пресс

вниз малый поршень *3* оказывает на жидкость давление, которое передаётся в соответствии с законом Паскаля большому поршню *2*. При этом сила, действующая на него, больше, чем сила, действующая на малый поршень. Большой поршень поднимается, и тело, расположенное на платформе, сжимается.

Жидкость из малого цилиндра в большой перекачивается с помощью малого поршня за несколько раз. Рассмотрим, как это происходит. При подъёме малого поршня под ним возникает пониженное давление и клапан *6* открывается, а клапан *7* закрывается под действием давления жидкости в большом цилиндре. В образующееся под поршнем пространство засасывается жидкость. При движении малого поршня вниз под давлением жидкости клапан *6* закрывается, одновременно открывается клапан *7*, и жидкость переходит в большой цилиндр.

Для контроля процессов давление жидкости в прессе измеряют манометром *4*. Если давление превышает допустимое значение, то автоматически открывается предохранительный клапан *5*.

В современных прессах и мощных домкратах вместо малого цилиндра, создающего давление в гидравлической системе, используются специальные насосы.

В двигателе автомобиля подобный масляный насос создаёт давление в системе смазки автомобиля. Современные автомобили часто имеют дисковые тормоза на передних колёсах, а на задних — барабанные. И те и другие управляются давлением жидкости.

1. Каковы устройство и принцип действия гидравлических машин? **2.** Как определить выигрыш в силе, который даёт гидравлический пресс (без учёта трения)? **3.** Используя рисунок 148, объясните принцип работы гидравлического пресса.

1. Нужно ли изменить конструкцию гидравлического пресса для его работы на Луне?

2. Справедлив ли закон сообщающихся сосудов в условиях невесомости?

УПРАЖНЕНИЕ 28

1. Какой выигрыш в силе можно получить на гидравлических машинах, у которых площади поршней относятся как 2 : 50?
2. Площадь малого поршня гидравлического пресса 10 см^2, на него действует сила 200 Н. Площадь большого поршня 200 см^2. Какая сила действует на большой поршень?
3. В гидравлической машине площади поршней равны 20 см^2 и 200 см^2. На малый поршень поставили гирю массой 2 кг. Гирю какой массы при этом сможет удержать большой поршень?

4*. Малый поршень гидравлического пресса под действием силы 500 Н опустился на 15 см. При этом большой поршень поднялся на 5 см. Какая сила действует на большой поршень?

ЗАДАНИЕ 32



Рис. 149

1. Используя Интернет или другие источники информации, найдите, как устроен автомобильный гидравлический домкрат (рис. 149). Расскажите, как действует такое устройство.
2. Изготовьте модель устройства с применением гидравлической машины, используя справочную литературу или Интернет. Объясните принцип его действия.
3. Понаблюдайте за работой автопогрузчика или самосвала. В их конструкции использованы принципы гидравлической машины. Какие?

Это любопытно...

Пресс-гигант

Гидравлический штамповочный пресс — геркулес среди машин. Его общая высота 26,5 м — высота восьмиэтажного дома. Целых четыре этажа находятся под полом цеха. Движущаяся часть машины массой 1820 т развивает рабочее усилие 455 000 кН. Одним движением машина превращает уложенную на штамп толстую листовую заготовку в почти готовую деталь самолёта — лонжерон крыла. Её размеры: длина 3200 мм, ширина 460 мм, толщина 4,8 мм. Форма поверхности детали сложная, а в то же время при изготовлении требуется очень большая точность. В нашей стране имеются гидравлические прессы, рабочее усилие которых ещё больше, например 700 000 кН.

Гидравлический тормоз автомобиля

Рассмотрим устройство *автомобильного гидравлического тормоза*, схема которого изображена на рисунке 150.

При нажатии на педаль тормоза *1* давление, создаваемое поршнем *2* в главном цилиндре, передаётся по всем направлениям, т. е. в каждый рабочий цилиндр *3*. Это увеличенное давление заставляет поршни в колёсных цилиндрах сдвинуть тормозные колодки *4* и сдавить вращающийся барабан *5*, тормозя таким образом колёса. На поршни всех четырёх рабочих цилиндров действуют одинаковые силы. Они также прижимают колодки к колёсам с одинаковой силой. Поэтому автомобиль при торможении не заносит. Эта гидравлическая машина позволила силу, действующую на педаль, одинаково распределить и передать на все четыре колеса, удалённые на разные расстояния от педали тормоза. Когда давление ноги прекращается, возвратные пружины *6* оттягивают тормозные колодки, возвращая при этом тормозную жидкость в основной цилиндр.

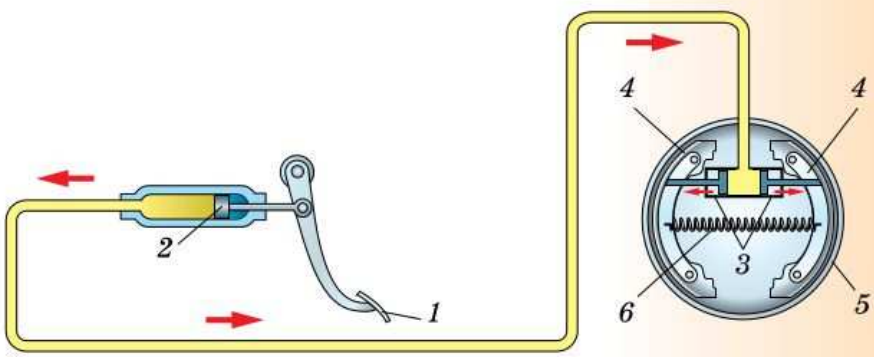


Рис. 150. Схема автомобильного гидравлического тормоза

На принципиальной схеме (см. рис. 150) показано лишь одно колесо. Зарисуйте в тетради схему тормозной системы автомобиля, показав на ней все четыре колеса. Предложите такую схему, чтобы в случае возникновения неисправностей, не позволяющих тормозить одной паре колёс, торможение другой парой оставалось возможным.

§ 46 ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА ПОГРУЖЁННОЕ В НИХ ТЕЛО

В воде можно поднять такой большой камень, который вам не под силу поднять на суше. Погрузим мяч под воду и выпустим из рук, он всплывёт. Как объяснить эти и подобные явления?

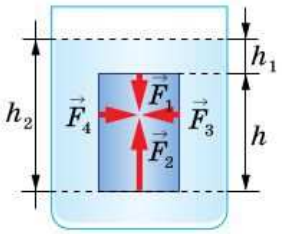


Рис. 151. Силы, действующие на погружённое в жидкость тело

Мы знаем, что находящаяся в сосуде жидкость оказывает давление на его дно и стенки. Если внутрь жидкости поместить тело, то жидкость будет оказывать давление и на него.

Рассмотрим параллелепипед, помещённый в воду (рис. 151). На все грани этого параллелепипеда со стороны жидкости действуют силы давления. Все боковые грани находятся в одинаковых условиях. Силы давления на боковые грани, например $\vec{F}_3$ и $\vec{F}_4$, равны по модулю и противоположны по направлению. Они уравновешивают друг друга.

Силы, действующие на верхнюю и нижнюю грани параллелепипеда, разные. На верхнюю грань давит столб жидкости высотой h_1. Сила давления F_1 на эту грань, направленная сверху вниз, равна

$$F_1 = p_1 S = \rho_ж g h_1 S,$$

так как давление жидкости $p_1 = \rho_ж g h_1$, а S — площадь грани параллелепипеда.

Давление на уровне нижней грани параллелепипеда производит столб жидкости высотой h_2. Поскольку внутри жидкости давление передаётся по всем направлениям, то на нижнюю грань параллелепипеда снизу вверх давит столб жидкости высотой h_2 с силой F_2, равной

$$F_2 = p_2 S = \rho_ж g h_2 S.$$

Так как $h_2 > h_1$, силы F_1 и F_2 не равны: $F_2 > F_1$.

Поэтому на параллелепипед действует вверх *выталкивающая сила*, равная разности сил F_2 и F_1:

$$F_{выт} = F_2 - F_1.$$

Из рисунка 151 видно, что $h_2 - h_1 = h$, где h — высота параллелепипеда.

Тогда

$$F_{выт} = \rho_ж g h_2 S - \rho_ж g h_1 S = \rho_ж g S (h_2 - h_1) = \rho_ж g S h.$$

Но $Sh = V$ — объём параллелепипеда, $\rho_ж V = m_ж$ — масса жидкости в объёме параллелепипеда, $m_ж g = P_ж$ — вес жидкости.

Следовательно,

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

Выталкивающая сила равна весу жидкости в объёме погружённого в неё тела.

Рассмотрим опыт, подтверждающий существование выталкивающей силы.

Подвесим тело к пружине со стрелкой-указателем (рис. 152, *а*). По положению указателя будем фиксировать растяжение пружины. Опустив тело в воду, заметим, что деформация пружины уменьшилась и тело поднялось вверх (рис. 152, *б*). Такой же результат можно получить, если на тело снизу вверх подействовать некоторой силой, например надавить рукой.

Данный опыт подтверждает, что **на тело, находящееся в жидкости, действует сила, выталкивающая его из жидкости.**

Действует ли выталкивающая сила на тело, находящееся в газе?

Для газов, как и для жидкости, выполняется закон Паскаля. Следовательно, в обычных земных условиях *на находящиеся в газе тела действует сила, выталкивающая их из газа.*

Проделаем опыт. Уравновесим на весах стеклянную колбу, закрытую пробкой, грузиком (рис. 153). Поместим под колбу широкий сосуд

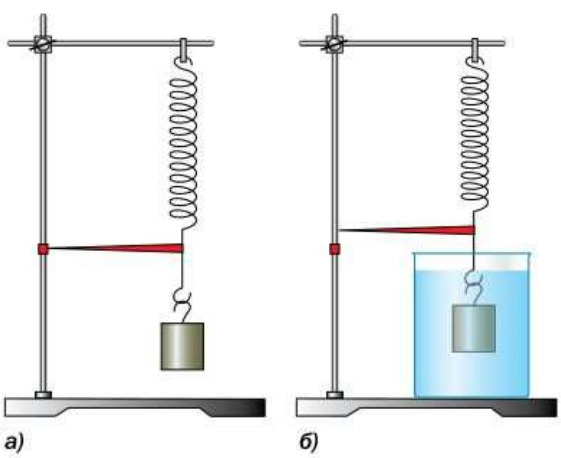


Рис. 152. Обнаружение силы, выталкивающей тело из жидкости

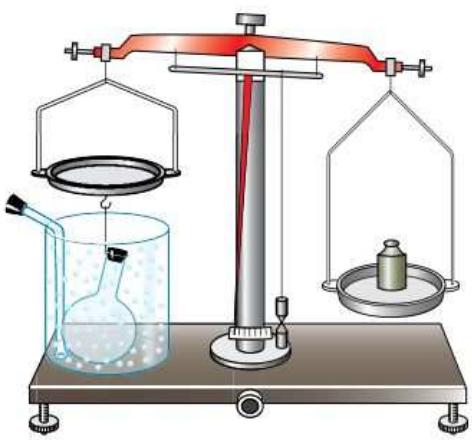


Рис. 153. Обнаружение силы, выталкивающей тело из газа

так, чтобы он полностью окружал колбу. Сосуд наполним углекислым газом. Плотность углекислого газа больше плотности воздуха, поэтому он на некоторое время останется в сосуде. При этом равновесие весов нарушится, чаша с подвешенной колбой поднимется вверх. Это объясняется тем, что в углекислом газе на колбу действует бóльшая выталкивающая сила, чем в воздухе.

Сила, выталкивающая тело из жидкости или газа, направлена противоположно силе тяжести, приложенной к этому телу.

Поэтому вес тела в жидкости или газе меньше его веса в вакууме (пустоте). Этим объясняется, что в воде легче поднять тело, которое может быть трудно удержать в воздухе.



1. Приведите примеры явлений из жизни, подтверждающие существование выталкивающей силы. **2.** Чему равна выталкивающая сила, действующая на тело, погружённое в жидкость? **3.** Объясните, почему на тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила. **4.** Как на опыте показать, что на находящееся в газе тело действует выталкивающая сила? Какой газ вместо углекислого газа можно использовать в этом опыте?

§ 47 АРХИМЕДОВА СИЛА

В предыдущем параграфе был сделан вывод, что выталкивающая сила равна весу жидкости в объёме погружённого в неё тела. Проверим этот вывод на опыте.

На пружине со стрелкой-указателем подвесим пустое ведёрко и металлический цилиндр такого же объёма (рис. 154, *а*). По растяжению пружины можно судить о весе тела. Отметим положение стрелки-указателя.

Погрузим цилиндр целиком в отливной сосуд, наполненный водой до уровня отливной трубки (рис. 154, *б*). При этом *часть воды, объём которой равен объёму тела*, из отливного сосуда выльется в стакан. Пружина сожмётся, стрелка-указатель поднимется, показывая, что

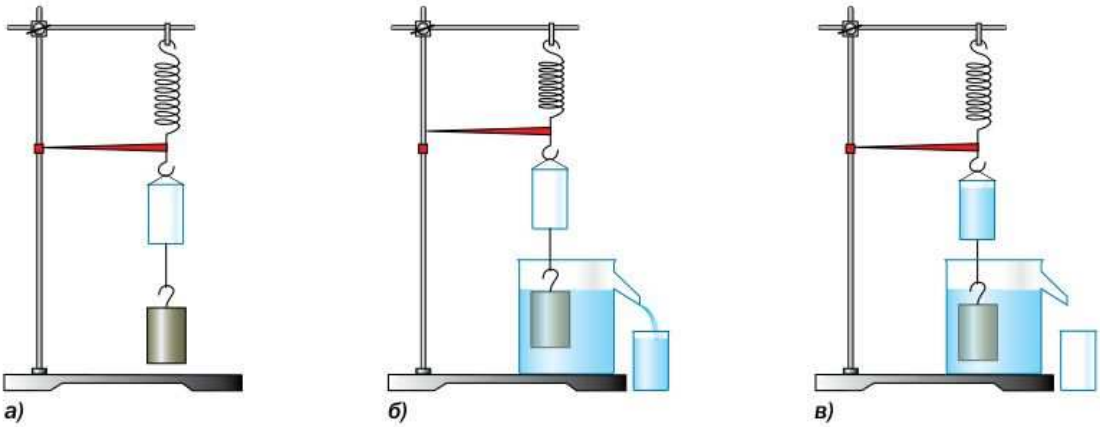


Рис. 154. Опыты с ведёрком Архимеда

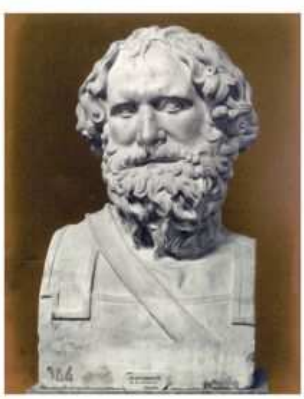
вес погружённого в воду цилиндра уменьшился. Следовательно, на тело, погружённое в воду, наряду с силой тяжести действует сила, направленная вверх.

Вылившуюся в стакан воду перельём в ведёрко, не вынимая тела из отливного сосуда. Вода заполнит ведёрко доверху, а стрелка-указатель возвратится к первоначальному положению (рис. 154, *в*). Следовательно, вес тела при погружении в жидкость уменьшается на величину, равную весу жидкости в объёме тела.

Если в воду погрузить часть цилиндра, он вытеснит меньше жидкости (вспомните лабораторную работу № 4). Его вес уменьшится на величину веса воды в объёме части цилиндра, погружённой в жидкость.

Таким образом, **на тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объёме части этого тела, погружённой в жидкость.** Это же справедливо и для тела, погружённого в газ: **на тело, находящееся в газе, действует выталкивающая сила, равная весу газа в объёме тела.**

Впервые эта закономерность для тела, погружённого в жидкость, была установлена древнегреческим учёным ***Архимедом***, поэтому её назы-



АРХИМЕД

(287—212 до н. э.)

Древнегреческий учёный, установил правило равновесия рычага, открыл закон гидростатики

вают ***законом Архимеда***. Силу, выталкивающую тело из жидкости или газа, называют ***архимедовой силой*** и обозначают $\vec{F}_{\text{А}}$.

Таким образом, архимедова сила равна весу жидкости в объёме части тела, погружённой в жидкость, т. е. $F_{\text{А}} = P_{\text{ж}} = m_{\text{ж}}g$. Масса жидкости, вытесняемой телом, $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п. ч}}$, $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, $V_{\text{п. ч}}$ — объём части тела, погружённой в жидкость (так как объём $V_{\text{ж}}$ вытесненной телом жидкости $V_{\text{ж}} = V_{\text{п. ч}}$). Тогда

$$F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п. ч}} g.$$

$F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п. ч}} g$

Из формулы следует, что архимедова сила тем больше, чем больше объём части тела, погружённой в жидкость, и плотность жидкости, в которую это тело погружено.



Ведёрко Архимеда

Определим вес находящегося в жидкости (или газе) тела. На него действуют сила тяжести, направленная вниз, и архимедова сила, направленная вверх. Вес тела в жидкости P_1 будет меньше веса тела в вакууме $P = mg$.

$$P_1 = P - F_{\text{А}}, \text{ или } P_1 = mg - m_{\text{ж}}g.$$

Итак, *тело, погружённое в жидкость* (*или газ*), *теряет в своём весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость* (*или газ*).

Если тела на рычажных весах уравновешены в воздухе, то это не значит, что они будут уравновешены в вакууме. В воздухе тело «весит» меньше, чем в вакууме.

Потеря веса в воздухе будет тем больше, чем больше объём тела. Вес куска дерева массой 1 т меньше веса куска железа той же массы. Почему? Потому что тонна дерева занимает больший объём (из-за меньшей плотности дерева), чем тонна железа. Потеря веса такого объёма дерева больше потери веса меньшего объёма железа. Однако эта потеря столь незначительна, что в обыденной жизни мы её не замечаем.

Пример. Определите выталкивающую силу, действующую на тело объёмом 15 дм^3, полностью погружённое в ртуть.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**СИ**	**Решение:**
$V_т = 15$ дм^3 $\rho_ж = 13\,600\ \frac{кг}{м^3}$ $g = 10\ \frac{м}{с^2}$ $F_А$ — ?	0,015 м^3	$F_А = \rho_ж V_{п.ч} g$, $F_А = 13\,600\ \frac{кг}{м^3} \times$ $\times\ 0{,}015$ м$^3 \times$ $\times\ 10\ \frac{м}{с^2} =$ $= 2040$ Н ≈ 2 кН.

Ответ: $F_А \approx 2$ кН.

1. Опишите опыт, изображённый на рисунке 154. Что он доказывает? **2.** Какую силу называют архимедовой? **3.** По какой формуле можно рассчитать архимедову силу? **4.** От каких величин и как зависит архимедова сила?

Как изменится выталкивающая сила (см. *пример*), если аналогичный эксперимент провести в космическом корабле, находящемся на поверхности Луны?

УПРАЖНЕНИЕ 29

1. К одной чаше весов подвешен цилиндр из алюминия, а к другой — оловянный такой же массы. Весы находятся в равновесии. Оба цилиндра одновременно погрузили в воду. Равновесие весов нарушилось. Объясните почему. Какая чаша весов перевесила?
2. К коромыслу весов подвешены два железных шарика одинакового объёма. Нарушится ли равновесие весов, если один шарик погрузить в воду, другой — в керосин? Ответ обоснуйте.
3. Какую силу нужно приложить, чтобы кусок гранита объёмом 40 дм^3 удержать в воде; в воздухе?
4. В какой воде, пресной или морской, на человека действует бóльшая выталкивающая сила?

5*. Одинаковая ли сила потребуется для того, чтобы удержать пустое ведро в воздухе и это же ведро, но наполненное водой, в воде? Ответ поясните.

ЗАДАНИЕ 33

- Измерьте выталкивающую силу, действующую на банку с водой, когда она погружена в воду наполовину; целиком. Выясните зависимость выталкивающей силы от глубины погружения тела в жидкость.

Это любопытно...

Легенда об Архимеде

Греческий математик и механик Архимед жил в городе Сиракузы на Сицилии. Благодаря своим изобретениям он был знаменит и при жизни, но ещё больше прославился в легендах после смерти. Одна из легенд связана с измерением плотности тела сложной формы. Сиракузский царь Гиерон попросил Архимеда выяснить, нет ли в его золотой короне примеси серебра. Корону разрушать нельзя — это было единственное требование царя.

Согласно легенде, Архимед догадался, как это можно сделать. Принимая ванну, он заметил, что стал легче. С возгласом «Эврика!» (что означает «нашёл») он выскочил из ванны и побежал в комнату за короной, чтобы немедленно определить потерю её веса в воде. По предположению Архимеда, корона с примесью серебра занимала бы больший объём, чем если бы она была изготовлена только из чистого золота.

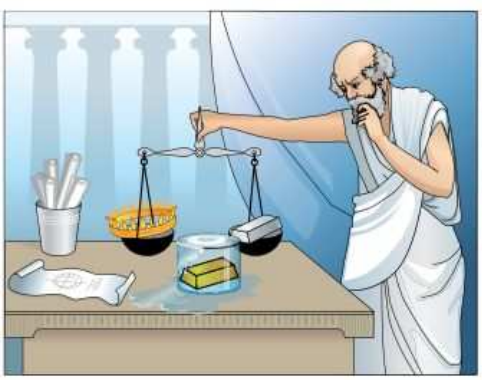


Рис. 155. Решение задачи о золотой короне

Архимед заказал два слитка — один из золота, другой из серебра. Вес каждого слитка был равен весу короны (рис. 155). Он наполнил сосуд водой до самых краёв и опустил в него поочерёдно слитки. Измеряя и сравнивая объём воды, вытесняемой слитками, Архимед обратил внимание, что при погружении слитка из серебра воды вытекло больше. Потом таким же методом был определён объём короны. Оказалось, что при погружении короны она вытеснила воды больше, чем золотой слиток такого же веса. Кража была доказана.

Пользуясь способом Архимеда, определите плотность любого домашнего объекта, материал которого не является очевидным на первый взгляд. По таблице 3 определите, что это за материал. Сделайте фотоотчёт о своей работе.

§ 48 ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

Ответить на вопрос, что будет происходить с телом, погружённым в жидкость, будет оно тонуть или всплывать, позволяет закон Архимеда.

Рассмотрим тело, которое сначала полностью погрузили в жидкость, а затем отпустили. На тело действуют две силы: вертикально вниз сила тяжести $F_{тяж}$ и вертикально вверх архимедова сила F_A. Если $F_{тяж} \neq F_A$, то тело начнёт двигаться в сторону большей силы. Если же $F_{тяж} = F_A$, то тело будет находиться в равновесии внутри жидкости. Рассмотрим эти случаи подробнее.

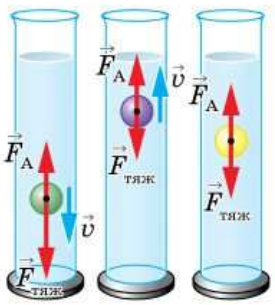


Рис. 156. Плавание тел:
а — $F_{тяж} > F_A$, тело тонет;
б — $F_{тяж} < F_A$, тело всплывает;
в — $F_{тяж} = F_A$, тело плавает

1. *Если сила тяжести* $F_{тяж}$ *больше архимедовой силы* F_A (рис. 156, *а*), *то тело будет глубже погружаться в жидкость, тонуть*, т. е. *если*

$F_{тяж} > F_A$, *то* **тело тонет.**

Зная, что сила тяжести $F_{тяж} = \rho_т V_т g$ и архимедова сила $F_A = \rho_ж V_т g$, получим:

$$\rho_т V_т g > \rho_ж V_т g,$$

следовательно, $\rho_т > \rho_ж$.

Здесь $\rho_т$ — плотность вещества, из которого изготовлено тело, $\rho_ж$ — плотность жидкости, $V_т$ — объём тела.

Таким образом, тело тонет, если *плотность тела больше плотности жидкости* $\rho_т > \rho_ж$.

2. *Если сила тяжести* $F_{тяж}$ *меньше архимедовой силы* F_A (рис. 156, *б*), *то тело будет подниматься из жидкости, всплывать*, т. е. *если*

$F_{тяж} < F_A$, *то* **тело всплывает.**

Значит, тело всплывает, если *плотность тела меньше плотности жидкости* $\rho_т < \rho_ж$.

3. *Если сила тяжести* $F_{тяж}$ *равна архимедовой силе* F_A (рис. 156, *в*), *то тело может находиться в равновесии в любом месте жидкости*, т. е. *если*

$F_{тяж} = F_A$, *то* **тело плавает.**

Если плавающее тело полностью погружено в жидкость, то

$$\rho_т V_т g = \rho_ж V_т g,$$

следовательно, $\rho_т = \rho_ж$.



Большинство рыб имеют плавательный пузырь, приближающий среднюю плотность тела рыбы к плотности воды. Это значительно экономит рыбе усилия для поддержания тела на нужной глубине

Итак, тело плавает внутри жидкости, если *плотность тела равна плотности жидкости* $\rho_т = \rho_ж$.

Так, кусок олова, например, тонет в воде, но всплывает в ртути. Тело же, плотность которого равна плотности жидкости, остаётся в равновесии внутри жидкости.

Обитающие в водной среде живые организмы имеют среднюю плотность, очень мало отличающуюся от плотности воды, поэтому сила тяжести, действующая на них, уравновешивается архимедовой силой. Благодаря этому водные обитатели не нуждаются в столь прочных скелетах, как обитатели суши.

Рассмотрим, что происходит, когда тело всплывает и достигает поверхности жидкости. Архимедова сила уменьшается за счёт уменьшения объёма погружённой части тела, сила тяжести не изменяется. После всплытия, когда тело будет плавать на поверхности жидкости, объём его погружённой части окажется таким, что будет обеспечено равенство архимедовой силы и силы тяжести. Чем меньше плотность тела по сравнению с плотностью жидкости, тем меньшая часть тела будет погружена в жидкость (рис. 157).

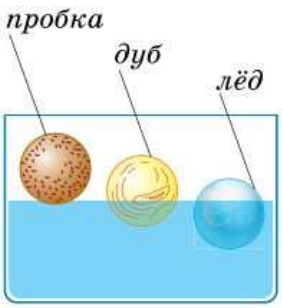


Рис. 157. Погружение в жидкость тел различной плотности

Итак, *тело плавает внутри жидкости или на её поверхности, если вес вытесненной им жидкости равен весу этого тела в воздухе*.

Проверим это на опыте. В отливной сосуд до уровня отливной трубки нальём воду. Определим вес тела в воздухе и после этого поместим его в сосуд (рис. 158). Тело вытеснит воду в объёме, равном объёму погружённой в неё части тела. Определим вес воды, вытесненной телом. Получим, что её вес (равный архимедовой силе) равен силе тяжести, действующей на плавающее тело, или весу этого тела в воздухе.



Рис. 158. Вытеснение воды телом

Вы слышали выражение: «Это только надводная часть айсберга»? Айсберг представляет собой глыбу льда, плавающую в океане. Так



Айсберг

как айсберг не всплывает и не тонет, то действующие на него сила тяжести и выталкивающая сила равны по модулю и направлены в противоположные стороны. Этим условием определяется то, какая часть айсберга находится под водой.

Все сделанные выводы относятся и к газам. В частности, плотность тёплого воздуха меньше, чем холодного, поэтому он поднимается вверх (всплывает). Это видно по дыму, поднимающемуся из трубы вверх.

Пример. Кусок льда объёмом 1 м^3 плавает на поверхности воды. Определите объём подводной части льдины.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$V = 1$ м^3

$\rho_л = 900 \frac{кг}{м^3}$

$\rho_в = 1000 \frac{кг}{м^3}$

$V_{п.ч}$ — ?

Решение:

На льдину действуют сила тяжести $F_{тяж} = \rho_л V g$ и архимедова сила $F_А = \rho_в V_{п.ч} g$.

Поскольку льдина плавает, то

$F_{тяж} = F_А$.

Тогда

$\rho_л V g = \rho_в V_{п.ч} g$.

Отсюда

$$V_{п.ч} = \frac{\rho_л}{\rho_в} V,$$

$$V_{п.ч} = \frac{900 \frac{кг}{м^3}}{1000 \frac{кг}{м^3}} \cdot 1 \text{ м}^3 = 0{,}9 \text{ м}^3.$$

Ответ: $V_{п.ч} = 0{,}9$ м^3.

1. Назовите условия, при которых находящееся в жидкости тело тонет; плавает; всплывает. **2.** Опишите опыт, изображённый на рисунке 158. Какой вывод можно сделать по результатам опыта? **3.** От чего зависит глубина погружения тела, плавающего на поверхности жидкости? **4.** Какие особенности строения водных обитателей позволяют им плавать на различной глубине?

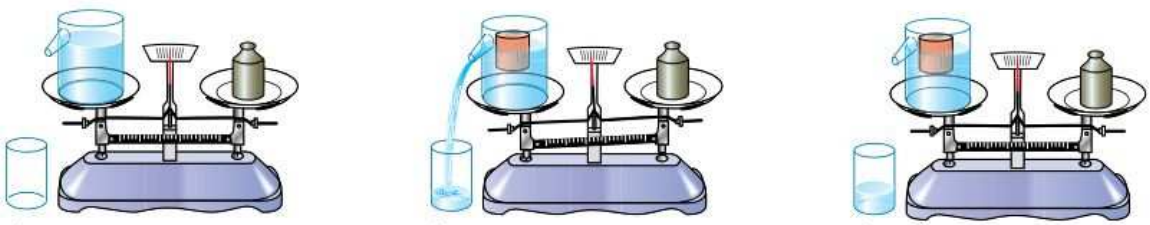
1. Почему плавает тяжёлое судно со стальным корпусом, а гвоздь, упавший в воду, тонет?

2. На груди и на спине водолаза размещают специальные утяжелители, точно такие же имеются на башмаках. Зачем это делают?

3. Будет ли плавать в ртути стеклянная бутылка, заполненная ртутью?

УПРАЖНЕНИЕ 30

1. Рассмотрите этапы опыта, изображённого на рисунке 159. Какова цель опыта? Какие выводы он позволяет сделать?



а) б) в)

Рис. 159

2. Деревянная доска весом 100 Н плавает на поверхности пруда. Чему равна выталкивающая сила, действующая на доску?

3. Тело массой 800 кг и объёмом 1 м^3 плавает на поверхности воды. Чему равна выталкивающая сила, действующая на тело?

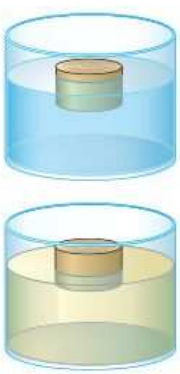


Рис. 160

4. Одно и то же тело плавает в двух разных жидкостях (рис. 160). У какой жидкости плотность больше и почему? Каково соотношение между силой тяжести, действующей на тело, и архимедовой силой в каждом случае?

5. Как в сосуде, содержащем керосин, расположатся три сплошных шарика: пробковый, парафиновый, стальной? Ответ обоснуйте. Сделайте рисунок. Изобразите на рисунке силы, действующие на тела различной плотности, погружённые в жидкость.

6. Почему нельзя тушить горящий бензин, заливая его водой?

7. Плавающий на воде деревянный брусок вытесняет воду объёмом 0,72 м^3, а погружённый в воду целиком — 0,9 м^3. Определите выталкивающие силы, действующие на брусок в том и другом случае. Объясните, почему эти силы различны.

8*. Определите, какая часть объёма айсберга находится под водой.

ЗАДАНИЕ 34

1. Для отделения зёрен ржи от ядовитых спор спорыньи смесь высыпают в воду, и зёрна ржи и споры спорыньи в ней тонут. Затем в воду добавляют соль, и споры спорыньи начинают всплывать, а ржаные зёрна остаются на дне. Объясните способ очистки зёрен.

2. Во все времена людям были интересны игрушки, основанные на различных физических явлениях. Предлагаем вам создать игрушку, которая известна уже более 350 лет. Называется она «картезианский водолаз» и демонстрирует зависимость плавучести тела от сжатия сосуда, в котором находится. Найдите в Интернете описание этого прибора, изучите его историю.

Изготовьте игрушку, объясните принцип её действия. Продемонстрируйте с её помощью условия плавания тел.

§ 49 ПЛАВАНИЕ СУДОВ. ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ



Плавание судов

Используя условия плавания тел, человек научился строить различные суда для перемещения по поверхности морей и океанов. Это и пиро́ги индейцев, и лодки из папируса, и деревянные корабли Петра I. Появление технологии изготовления листовой стали позволило в XIX в. перейти к строительству бронированных, а затем и полностью металлических кораблей. Современные суда строят из самых разных материалов, но корпуса больших кораблей по-прежнему делают стальными.

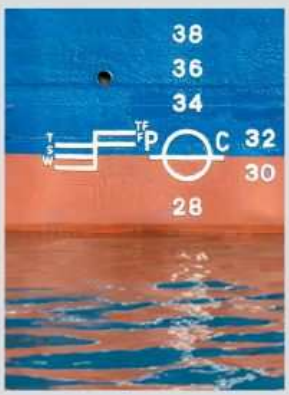
Если взять тонкую металлическую пластину и опустить её в воду, то она утонет, ведь плотность металла больше плотности воды. Как же суда, построенные из материалов с плотностью большей, чем плотность воды, не просто держатся на воде, но и перевозят огромные грузы? Сделаем из пластины коробочку и также опустим её в воду. Коробочка будет плавать на поверхности воды.

Известно, что архимедова сила зависит от объёма погружённой в жидкость части тела. Для коробочки этот объём гораздо больше, чем для пластины. Архимедова сила оказывается равной силе тяжести, что позволяет коробочке плавать. Объём подводной части судна может достигать сотен тысяч кубических метров и во много раз превышать объём стали, из которой сделан корпус судна. Поэтому возникает большая архимедова сила, способная удержать судно на плаву.

Вес судна с грузом в воздухе (или действующая на судно с грузом сила тяжести) равен весу воды, вытесняемой подводной частью судна.

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

На корпусе корабля проводится ***ватерлиния***, указывающая наибольшую допустимую осадку. Погружение судна ниже или выше ватерлинии может привести к его затоплению или опрокидыванию.



Отметки, определяющие грузовые ватерлинии судна при его загрузке в различных зонах, районах и в сезонные периоды плавания

У судна есть важная характеристика — водоизмещение. *Водоизмещением называют вес воды, вытесненной судном при погружении до ватерлинии.* Согласно условию плавания тел, водоизмещение равно силе тяжести, действующей на судно с грузом.

Разность между водоизмещением и весом самого судна называют ***грузоподъёмностью*** этого судна. Грузоподъёмность показывает максимальный вес груза, который может перевозить судно.

Не меньше, чем покорить водную стихию, человек мечтал поднять себя в воздух. Первым плавающим в воздухе «кораблём» был воздушный шар (рис. 161, *в*). Его наполняли тёплым воздухом, плотность которого меньше, чем у атмосферного воздуха. В дальнейшем шары стали заполнять водородом или гелием.

Воздушный шар поднимется в воздух, если действующая на него архимедова сила $F_А$ будет больше силы тяжести $F_{тяж}$, т. е. $F_А > F_{тяж}$.

Плотность атмосферного воздуха уменьшается по мере удаления от поверхности земли. Поэтому при подъёме шара вверх действующая на него архимедова сила ($F_А = \rho V g$) становится меньше. После того как она уменьшается до значения $F_А = F_{тяж}$, подъём шара прекращается. Чтобы подняться выше, нужно, чтобы сила тяжести вновь стала меньше архимедовой силы. Для этого с шара сбрасывают специально взятый груз (балласт). Для спуска на землю следует уменьшить архимедову силу. Это мож-



Рис. 161.
Воздухоплавание:
а — стратостат;
б — дирижабль;
в — воздушные шары



Наполнение аэростата тёплым воздухом

но сделать, уменьшая объём шара, выпустив из его оболочки часть газа.

Тёплый воздух и сегодня используется для наполнения воздушных шаров. С помощью газовой горелки можно регулировать температуру воздуха, а вместе с ней его плотность. Горелка располагается под отверстием, находящимся в нижней части шара. При увеличении пламени горелки воздух будет сильнее нагреваться, а шар подниматься выше. Уменьшая пламя горелки и соответственно температуру воздуха, шар можно опустить вниз.

Иногда для проведения наблюдений требуется, чтобы шар неподвижно завис над одной точкой. Если подобрать температуру, при которой сила тяжести, действующая на шар вместе с кабиной, будет равна архимедовой силе, то шар будет неподвижен.

Воздушный шар, который запускают в атмосферу Земли, называют ***аэростатом***. Для полётов в стратосферу, т. е. на высоту более 10 км, предназначены воздушные шары — ***стратостаты*** (рис. 161, *а*). Аэростаты и стратостаты используются для исследования атмосферы.

В конце XIX — начале XX в. начали строить ***дирижабли*** (рис. 161, *б*) — воздушные шары специальной формы, наполненные водородом и оснащённые двигателем и воздушными винтами. Дирижабли перевозили грузы и пассажиров.

Но дирижабли были взрывоопасны, поскольку их наполняли водородом, и полёт дирижаблей зависел от погоды. По этим и другим причинам на смену дирижаблям в конце концов пришли самолёты и вертолёты.

Вес груза, который может поднять воздушный шар, называют его *подъёмной силой*. Рассмотрим пример.

Предположим, в воздух запущен шар объёмом $V = 1\ м^3$, наполненный водородом. Плотность водорода $\rho_в = 0{,}09\ \frac{кг}{м^3}$, плотность воздуха $\rho_{возд} = 1{,}3\ \frac{кг}{м^3}$.

Масса водорода, заполняющего оболочку шара, будет равна $m_в = \rho_в V$, а его вес — $P_в = m_в g = \rho_в V g$;

$$P_в = 0{,}09\ \frac{кг}{м^3} \cdot 1\ м^3 \cdot 10\ \frac{м}{с^2} = 0{,}9\ Н.$$



Запуск небесных фонариков

Архимедова сила, действующая на этот шар в воздухе, равна весу воздуха объёмом 1 $м^3$, т. е. $F_А = \rho_{возд} V g$;

$$F_А = 1{,}3\ \frac{кг}{м^3} \cdot 1\ м^3 \cdot 10\ \frac{м}{с^2} = 13\ Н.$$

Отсюда вес груза, который может поднять этот шар, равен

$$F = F_А - P_в;\ F = 13\ Н - 0{,}9\ Н = 12{,}1\ Н.$$

Но прежде всего шар должен поднять свою оболочку, поэтому вес груза, который может поднять шар, будет меньше рассчитанной величины на вес оболочки. Это и будет подъёмная сила шара.

Шар такого же объёма, но наполненный гелием, может поднять груз весом 11,2 Н. Значит, подъёмная сила его меньше, чем шара, наполненного водородом. На практике гелий используют чаще, чем водород, который взрывоопасен.

В кораблях, подводных лодках, воздушных шарах, дирижаблях используется выталкивающая сила, действующая на них со стороны воды и воздуха. Эту же выталкивающую силу используете и вы, когда плаваете в море, реке, озере, бассейне. Но использование выталкивающей силы не единственный способ удержаться в воздухе или на воде. Полёт воздушного змея, самолёта, вертолёта, дельтаплана, движение скутера, катера на подводных крыльях, катание на водных лыжах возможны благодаря подъёмной силе крыла, с которой вы познакомитесь в старших классах.

1. Почему тяжёлые суда могут плавать? **2.** Зачем на корпус судна наносят ватерлинию? **3.** Что такое грузоподъёмность судна? **4.** Как рассчитать подъёмную силу шара, наполненного газом? **5.** Как изменяется действующая на шар архимедова сила по мере его подъёма? **6.** Как регулируют высоту подъёма воздушного шара с помощью горелки?

УПРАЖНЕНИЕ 31

1. Как изменится глубина погружения лодки, если в неё сядут ещё два человека? Ответ объясните.
2. Сила тяжести, действующая на судно, 50 000 кН. Какой объём воды вытесняет это судно?
3*. Плот состоит из 12 сухих еловых брусьев. Длина каждого бруса 4 м, ширина 30 см, толщина 25 см. Можно ли на этом плоту переправить через реку автомашину весом 100 кН?
4. Прочный сосуд, заполненный сжатым воздухом, уравновешен на весах. Стеклянная трубка с краном пропущена через пробку сосуда. К её наружному концу привязана оболочка резинового шара (рис. 162, *а*). Если часть воздуха из сосуда перейдёт в оболочку и раздует её, то равновесие весов нарушится (рис. 162, *б*). Объясните почему.

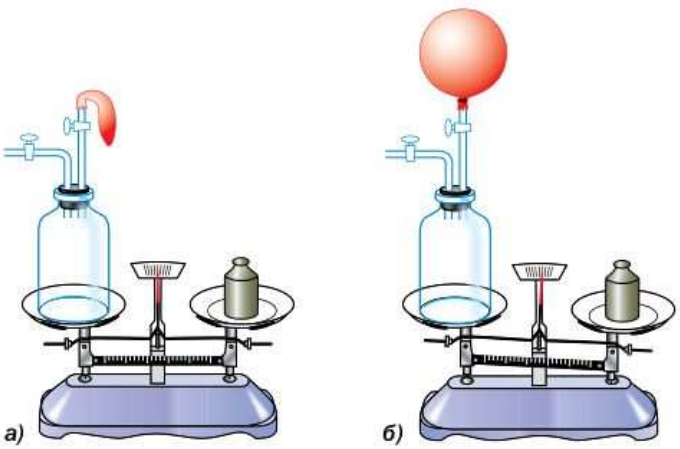


Рис. 162



Рис. 163

5. Почему нарушилось равновесие весов, когда из-под колокола воздушного насоса откачали воздух (рис. 163)? Объясните наблюдаемое явление.
6. Определите подъёмную силу наполненного водородом аэростата объёмом 1000 м^3, оболочка которого весит 2000 Н.
7. Определите объём воздушного шара, наполненного гелием, если подъёмная сила шара равна 240 Н.
8*. В романе Ж. Верна описана подводная лодка «Наутилус» с просторными кабинетами, залами и каютой. Почему современные подводные лодки не обладают такими просторными помещениями?

ЗАДАНИЕ 35

1. Изготовьте модель корабля или лодки. Для этого возьмите пластиковую бутылку с закрытой крышкой. Определите, какой максимальный груз может принять «на борт» ваш «корабль».

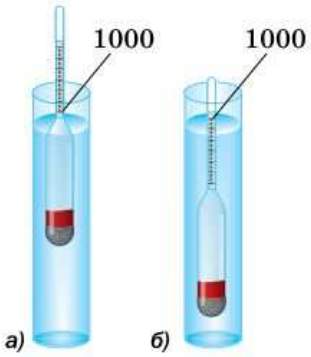


Рис. 164

2*. Придумайте и постройте более совершенный «корабль», чем в задании 1. Сделайте действующую модель.

3. На рисунке 164 изображены два прибора, называемые ***ареометрами***, которые используются для измерения плотности жидкости. Действие ареометра основано на условии плавания тел. Объясните, как работает ареометр.

Пояснение. Числом 1000 на ареометрах обозначена плотность воды: $\rho = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. На ареометрах, предназначенных для жидкостей, имеющих плотность меньшую, чем вода, метку с числом 1000 располагают внизу шкалы (рис. 164, *а*). Второй ареометр (рис. 164, *б*) — для жидкостей с плотностью большей, чем вода. В таких ареометрах метка с числом 1000 находится вверху шкалы.

Используя пробирку и кусочки свинца, изготовьте ареометры для жидкостей, имеющих плотности бóльшую и меньшую, чем вода.

4. Изготовьте модель китайского фонарика — летающей светящейся конструкции из бумаги, натянутой на лёгкий деревянный каркас. Опробуйте её в действии. Будьте осторожны, запускайте фонарик на открытом месте.

ИТОГИ ГЛАВЫ

Сейчас каждый из вас стал немножко волшебником — отправить в плавание металлическую пластину, запустить в небо воздушный шар с игрушечным исследователем на борту — вы это можете! Вы понимаете, почему для резки металла не стоит использовать маникюрные ножницы и почему кухонные ножи должны быть остро отточены, как обезопасить себя при путешествии по болотистой местности. Вы знаете, что на вас давит толща атмосферы, и можете объяснить, почему вы этого не ощущаете. Вы умеете измерять давление с помощью барометра. Можете объяснить принцип действия гидравлического пресса и гидравлического тормоза. Можете рассчитать давление жидкости и газа на дно и стенки сосуда.

ОБСУДИМ?

Иван и Лена рассуждали о влиянии атмосферного давления на человека. Они решили разобраться в том, почему во время посадки и взлёта самолёта человек испытывает боль в ушах. Ребята прочитали в медицинской энциклопедии, что внутри уха есть барабанная перепонка и полость, находящаяся за ней, соединяется с носом слуховой трубой.

Исследуя данный вопрос, Иван предположил, что боль и заложенность в ушах увеличиваются в самолёте из-за насморка. Лена же считала, что нос человека не имеет отношения к боли в ушах. В качестве аргумента она привела в пример себя. Лена занимается синхронным плаванием, и нос перед началом тренировки она зажимает специальной прищепкой.

Проанализируйте рассуждения ребят и разберитесь в том, одинаковые ли ситуации они рассматривают. Какое отношение к боли в ушах имеет атмосферное давление?

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Давление на Земле: от сверхмалых до супербольших» (возможная форма: презентация, реферат, таблица, викторина).
2. Изготовление моделей, макетов, приспособлений и объяснение принципов действия поилки для птиц, умывальника, фонтана, уровня.
3. «Измеряем давление. Когда и для чего» (возможная форма: презентация, викторина, изготовление прибора, макета (барометра), опыты).
4. «Гидравлические машины на службе у человека» (возможная форма: презентация, изготовление модели, опыты).
5. «Выталкивающая сила» (изготовление модели, макета и объяснение принципов действия воздушного фонарика, воздушного змея).

Глава 4

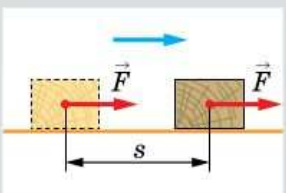
РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

§ 50 МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ

Понаблюдаем за игрой теннисистов. Что они делают во время подачи, чтобы мяч с огромной скоростью $\left(\text{до } 200 \ \frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$ отправился на сторону противника? Теннисист замахивается ракеткой, и движущаяся ракетка действует на мяч. Чем больше сила, с которой ракетка действует на мяч, и больше расстояние, которое пройдёт ракетка вместе с мячом, тем больше будет скорость мяча. Когда тело движется под действием силы, совершается ***механическая работа***.

$$A = Fs$$

Предположим, что тело, двигаясь *прямолинейно в одном направлении*, прошло путь s и при этом на него *в направлении движения* действовала постоянная сила $\vec{F}$. В этом случае механическая работа, или ***работа силы***, определяется как *произведение модуля силы на пройденный путь*.



Сила $\vec{F}$ совершает работу $A = Fs$ (другие действующие на тело силы на рисунке не показаны)

Работу обозначают буквой A и рассчитывают по формуле

$$A = Fs.$$

Человек поднимает с земли камень на какую-то высоту. При этом сила, которую он прикладывает к камню, совершает работу[1]. Чем тяжелее камень, тем бóльшую силу надо прикладывать и тем больше будет совершённая работа. Можно один и тот же камень поднимать на раз-

[1] В дальнейшем мы иногда будем использовать выражения типа «рука человека совершила работу». В таких случаях имеется в виду работа силы, действующей со стороны данного тела (например, руки) на какое-то другое тело.



Совершение работы электровозом по перемещению вагонов поезда

ную высоту. Сила требуется для этого одна и та же, но работа будет совершаться разная. Чем больше высота подъёма, тем больше работа.

Понятие «работа» в физике отличается от его обыденного употребления. Человек пытается сдвинуть шкаф. Обыватель скажет, что человек устал, совершая работу. А физик отметит, что действующая на шкаф сила не совершает работы, так как шкаф не перемещается.

Итак, когда под действием силы тело не перемещается, работа равна нулю. Если тело перемещается, но на него не действует сила или сила действует перпендикулярно скорости тела, то работа тоже равна нулю. Так, равна нулю работа силы тяжести, действующей на тело, движущееся по горизонтальной поверхности.

Если направление силы совпадает с направлением движения тела, то данная сила совершает положительную работу. В этом случае сила способствует движению тела. Но бывает и так, что сила препятствует движению. В этом случае движение тела происходит в направлении, противоположном направлению приложенной силы, например силы трения скольжения, и данная сила совершает отрицательную работу:

$$A = -F_{\text{тр}}s.$$

В случае действия на тело нескольких сил можно говорить о работе каждой из них в отдельности и о работе равнодействующей этих сил. Допустим, мы тянем брусок с помощью динамометра и перемещаем его по горизонтальной поверхности стола на некоторое расстояние (см. рис. 88, *а*). Тогда работа силы упругости пружины положительная, работа силы трения отрицательная, а работа силы тяжести и работа силы упругости, действующей на брусок со стороны стола, равны нулю. Если движение бруска прямолинейное равномерное, то равнодействующая всех сил равна нулю, поэтому равна нулю и работа равнодействующей.

Единица работы в СИ — *джоуль* (**Дж**) — названа в честь английского учёного ***Джеймса Джоуля*** (1818—1889).

1 Дж — *это работа, которая совершается силой* 1 Н *на пути* 1 м *при движении тела в направлении этой силы.*

1 Дж = 1 Н · 1 м = 1 Н · м.

1 Дж = 10^3 мДж

1 Дж = 10^{-3} кДж

1 Дж = 10^{-6} МДж

1 Дж — небольшая работа. Например, при подъёме ведра воды с пола на стул совершается работа приблизительно 60 Дж. При разгоне легкового автомобиля до скорости 72 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ совершается работа около 200 000 Дж. Для запуска искусственного спутника Земли необходимо совершить работу в миллиарды джоулей.

Широко применяются дольные и кратные единицы работы: *миллиджоуль* **(мДж)**, *килоджоуль* **(кДж)**, *мегаджоуль* **(МДж)**.

1 мДж = 0,001 Дж = 10^{-3} Дж;
1 кДж = 1000 Дж = 10^3 Дж;
1 МДж = 1 000 000 Дж = 10^6 Дж.



Совершение работы при подъёме судна

Пример. Определите работу, совершённую краном при равномерном подъёме тела массой 3 т на высоту 7 м.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**СИ**	**Решение:**
$m = 3$ т $h = s = 7$ м $g = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ A — ?	3000 кг	На тело действует сила тяжести и сила натяжения (упругости) троса. Нам нужно определить работу крана, следовательно, вычислить работу силы упругости. Сила упругости по направлению совпадает с перемещением тела, а по модулю равна силе тяжести, так как движение равномерное:

$F_{\text{упр}} = F_{\text{тяж}} = mg$,

$F_{\text{упр}} = 3000\ \text{кг} \cdot 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 30\,000\ \text{Н}$.

Работа по поднятию тела:

$A = F_{\text{упр}} s$,

$A = 30\,000\ \text{Н} \cdot 7\ \text{м} = 210\,000\ \text{Дж} = 210\ \text{кДж}$.

Ответ: $A = 210$ кДж.

1. При каких условиях совершается механическая работа? **2.** По какой формуле можно определить совершённую работу? **3.** В каком случае механическая работа равна нулю; отрицательна? **4.** Что принимают за единицу работы в СИ?

Совершает ли работу сила тяжести в следующих случаях: а) камень падает на землю; б) человек идёт по горизонтальной поверхности; в) человек на плечах держит тяжёлый груз; г) человек поднимается в лифте? Совершается ли работа в каждом из этих случаев какой-либо другой силой?

УПРАЖНЕНИЕ 32

1. Тело под действием горизонтальной силы 5 Н перемещается по горизонтальному полу на 20 м. Какая работа совершается этой силой?
2. Камень массой 200 г поднят на высоту 6 м. Какую работу совершила сила тяжести? Чему будет равна работа силы тяжести при падении камня?
3. При равномерном подъёме из колодца ведра воды массой 10 кг была совершена работа 650 Дж. Какова глубина колодца?
4. Шагающий экскаватор поднимает за один приём 14 $м^3$ грунта на высоту 20 м. Вес ковша без грунта 20 кН. Определите работу, совершаемую по подъёму грунта и ковша. Плотность грунта 1500 $\frac{кг}{м^3}$.

ЗАДАНИЕ 36

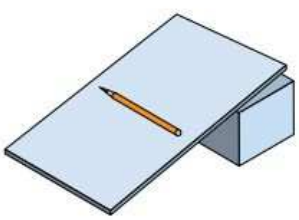


Рис. 165

- Сделайте наклонную плоскость из картона (рис. 165). Положите на неё карандаш. Проследите за тем, как он скатывается. Совершается ли при этом работа? За счёт работы какой силы увеличивается скорость карандаша? Увеличьте угол наклона. Как изменяется скорость карандаша при прохождении того же пути? Проследите за тем, чтобы путь всё время был одинаковым при изменении угла наклона. Сделайте вывод о зависимости работы от угла между силой и скоростью тела.

Это любопытно...

Работа в организме человека

Известный русский физиолог ***Илья Фаддеевич Цион*** (1842—1912) подсчитал, что в течение жизни сердце человека успевает совершить работу, равную работе по поднятию железнодорожного состава на высочайшую вершину Западной Европы — Монблан (высота 4810 м).

При сокращении сердечная мышца действует на кровь, проталкивая её по кровеносной системе. За каждое сокращение сердце выбрасывает в аорту от 60 до 80 мл крови, а при усиленной работе — до 200 мл, т. е. почти стакан крови. В состоянии покоя сердце человека за 1 мин перекачивает 6 л крови. При беге трусцой к мышцам должно притекать в 10—12 раз больше крови. За 1 мин такой физической активности получается примерно 3 ведра. В течение жизни через наше сердце в состоянии покоя проходит 150—250 тыс. т крови.

Согласно данным русского физиолога ***Алексея Алексеевича Ухтомского*** (1875—1942), человек массой 65 кг при ходьбе по ровной дороге при каждом двойном шаге выполняет в среднем следующую работу:

— занесение вперёд свободной ноги — 2,8 Дж;

— горизонтальное перемещение тела — 18,1 Дж;

— вертикальное перемещение тела — 39,5 Дж.

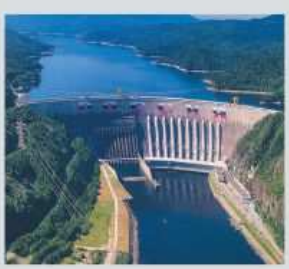
Всего 60,4 Дж.

Из этих данных видно, что самая большая работа совершается при вертикальных перемещениях тела. Работа, выполняемая за один шаг, не изменяется при ходьбе со скоростью 110—150 шагов в минуту, но быстро возрастает при увеличении скорости. Работа, совершаемая при ходьбе 180 шагов в минуту, оказывается большей, чем при беге на то же расстояние, совершаемом со скоростью 210—220 шагов в минуту. Таким образом, медленный бег в этом смысле более выгоден, чем быстрая ходьба.



Рассмотрим утверждение: «При быстром передвижении человек самопроизвольно переходит к бегу». Можно ли использовать содержащиеся в тексте данные для его объяснения?

§ 51 МОЩНОСТЬ. ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ



Мощность Саяно-Шушенской ГЭС 6400 МВт. Её плотина — одна из самых высоких в мире

В различных механических процессах совершается работа: при подъёме грузов, увеличении скорости автомобиля, забивании бетонных свай в грунт и т. п. Одна и та же работа может совершаться за разное время. Так, механический копёр (механизм для забивания свай) может забивать сваю за 2 мин, а группа из двух человек ту же работу совершит за 8 ч. Чтобы поднять сотню кирпичей на верхний этаж дома, человеку может потребоваться несколько часов. Подъёмный кран справится с этим за несколько минут.



Мощность, развиваемая тройкой лошадей, достигает 1,91 кВт

Физической величиной, которая характеризует быстроту совершения работы, является ***мощность***. Обозначают мощность буквой N.

Для того чтобы рассчитать мощность N, необходимо работу A разделить на время t, за которое эта работа была совершена.

Мощность — это физическая величина, равная отношению работы ко времени, за которое эта работа совершена.

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

мощность = работа / время

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

Мощность измеряется в *ваттах* **(Вт)**. Единица названа в честь шотландского учёного ***Джеймса Уатта*** (1736—1819).

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

$$1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{с}} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

$1\ \text{Вт} = 10^3\ \text{мВт}$
$1\ \text{Вт} = 10^{-3}\ \text{кВт}$
$1\ \text{Вт} = 10^{-6}\ \text{МВт}$

Широко применяются дольные и кратные единицы мощности — *милливатт* **(мВт)**, *киловатт* **(кВт)**, *мегаватт* **(МВт)**.

$1\ \text{мВт} = 0{,}001\ \text{Вт} = 10^{-3}\ \text{Вт};$

$1\ \text{кВт} = 1000\ \text{Вт} = 10^3\ \text{Вт};$

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



При вспахивании поля трактор развивает мощность 81 л. с.

Кроме того, иногда пользуются ещё одной единицей мощности — *лошадиной силой* **(л. с.)**. Чаще всего её применяют для оценки мощности автомобильных двигателей. Лошадиная сила равна приблизительно 735,5 Вт.

Мощность является важной характеристикой, так как она показывает эффективность работы устройства. Выбирая бытовой электроприбор, например пылесос, обязательно обращают внимание на его мощность. Из двух

устройств будет выбрано то, мощность которого при прочих одинаковых характеристиках больше.

Таблица 6. Мощность двигателей некоторых транспортных средств

Транспортное средство	N, кВт	Транспортное средство	N, кВт
Электросамокат	0,35	Вертолёт Ми-8	1100 × 2
Автомобиль «Лада Приора»	72,2	Самолёт Ан-124	9200 × 4
Электропоезд «Ласточка»	2560	Ледокол «Арктика» (2016)	60 000

Зная мощность, можно рассчитать работу, совершаемую техническим устройством за некоторый промежуток времени. Так как $N = \frac{A}{t}$, то

$$A = Nt.$$

Работа равна произведению мощности на время, в течение которого эта работа совершалась.



Мощность двигателей вентиляторов лежит в интервале от 30 до 140 Вт

Пример. Мощность двигателя напольного вентилятора равна 55 Вт. Какую работу он совершает за 30 мин?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	**СИ**	**Решение:**
$N = 55$ Вт		Работа, совершаемая двигателем,
$t = 30$ мин	1800 с	$A = Nt$,
A — ?		$A = 55$ Вт $\cdot$ 1800 с =
		= 99 000 Дж = 99 кДж.

Ответ: $A = 99$ кДж.

Мощность, развиваемая живыми организмами, может меняться в весьма широких пределах. Рыбы и водные млекопитающие экономно расходуют свои силы. Так, кит длиной 27 м и массой 122 т при плавании под водой со скоростью 8,5 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ развивает мощность всего

около 5 кВт, а при скорости 17 $\frac{км}{ч}$ — около 40 кВт. Вследствие столь экономного выполнения работы киты могут до получаса плавать под водой, не пополняя запаса воздуха.

1. Дайте определение мощности. **2.** Пользуясь определением мощности, запишите формулу для её расчёта. **3.** Какие единицы мощности вам известны? **4.** По какой формуле можно определить совершённую работу, зная мощность и время?

Груз поднимают вертикально вверх с постоянной скоростью. Как изменяется со временем совершаемая работа; развиваемая мощность?

УПРАЖНЕНИЕ 33

1. Выразите в ваттах следующие мощности: 20 мВт; 107 кВт; 5 МВт.
2. Подъёмный кран равномерно поднимает бетонную плиту массой 500 кг на высоту 10 м. Какую работу совершает подъёмный кран? Какова его мощность, если подъём длится 15 с?
3. Определите мощность двигателя, равномерно поднимающего лифт массой 300 кг на высоту 12 м за 30 с.
4. Мощность двигателей трамвая «Витязь-М» равна 450 кВт. Какую работу совершат двигатели за 3 ч?

5*. Автомобиль равномерно движется со скоростью 40 $\frac{м}{с}$. Какова мощность двигателя, если сила сопротивления 1000 Н? (Сила сопротивления складывается из силы трения качения и сопротивления воздуха.)

6*. Сколько тонн песка экскаватор мощностью 100 кВт поднимет на высоту 10 м за 1 ч?

ЗАДАНИЕ 37

- При подъёме тела массой m на высоту h совершается работа $A = mgh$, так как сила, необходимая для подъёма, равна mg, путь равен h. Если подъём осуществляется n раз, то работа $A = nmgh$.
  Руководствуясь этими соображениями, измерьте мощность, которую вы развиваете при двадцатикратном подъёме выбранного вами груза. Проделайте измерения для грузов массой 1 кг, 2 кг, 5 кг, поднимая их равномерно на высоту вытянутой руки. В качестве груза можно использовать стопку книг, пачку соли, двухлитровую бутылку с водой. Выдвиньте гипотезу, почему ваши результаты зависят от массы груза, который вы поднимаете.

§ 52 ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ

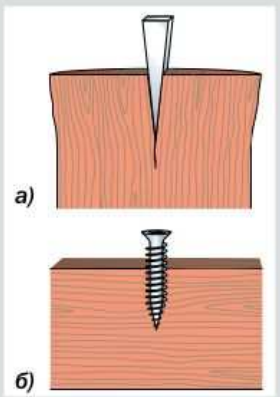
Человек, стремясь облегчить свой труд, создал множество машин, механизмов и приспособлений. Все они содержат элементарные части — *простые механизмы*.

Простые механизмы — это приспособления, которые служат для преобразования силы.

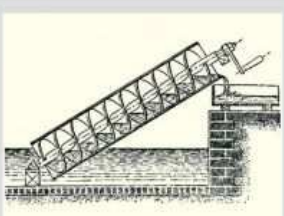
Как вам известно, сила — векторная величина. Простые механизмы дают возможность преобразовать (изменить) модуль и направление силы. Это и позволяет облегчить труд человека.

Простыми механизмами являются рычаг и наклонная плоскость, а также их разновидности. Разновидности рычага — блок и ворот, наклонной плоскости — клин и винт.

Люди использовали простые механизмы с давних времён. Так, с помощью рычагов 3 тыс. лет назад при строительстве пирамид в Древнем Египте передвигали и поднимали на большую высоту тяжёлые каменные плиты (рис. 166). Применяют простые механизмы и сейчас. Например, для того чтобы поднять тяжёлый предмет, используют рычаг (рис. 167),



Примеры простых механизмов:
а — клин; *б* — винт



Архимедов винт

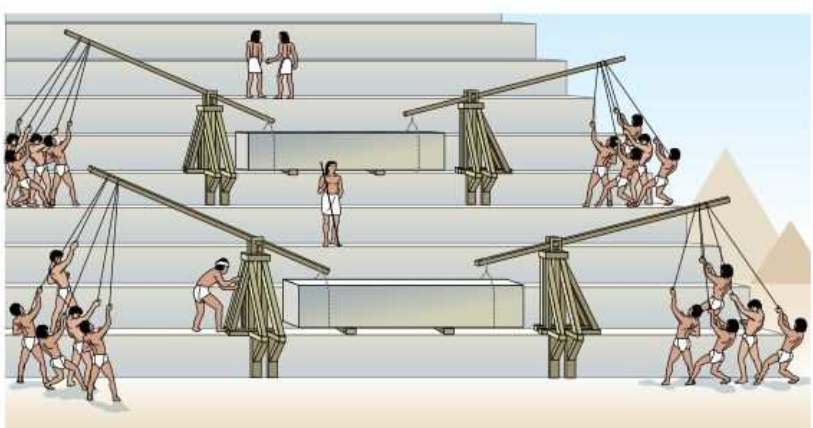
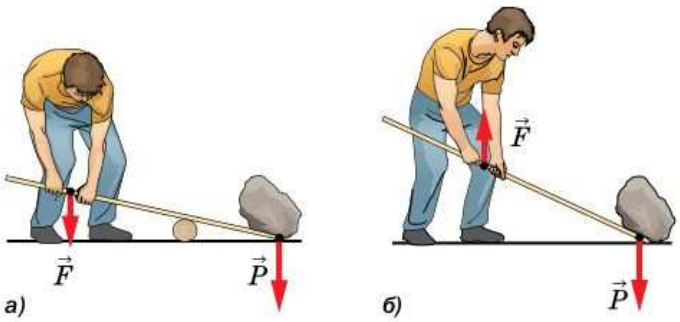


Рис. 166. Строительство пирамид



а) б)

Рис. 167. Использование рычага для поднятия камня



а)



б)

Рис. 168. Использование для поднятия грузов: *а* — наклонной плоскости; *б* — блоков

наклонную плоскость (рис. 168, *а*) или блоки (рис. 168, *б*).

Огромное количество сложнейших машин, приспособлений и автоматов использует современный человек. Они выполняют разнообразные функции как на производстве, так и в быту. Но даже в самых современных станках присутствуют простые механизмы, принцип действия которых знали ещё древние люди.

1. Какие механизмы называют простыми? **2.** Для какой цели применяют простые механизмы? **3.** Какой простой механизм применяли в Древнем Египте при строительстве пирамид?

Как вы думаете, для какой цели использовался архимедов винт? В каких современных устройствах его можно найти?

§ 53 РЫЧАГ. РАВНОВЕСИЕ СИЛ НА РЫЧАГЕ

Вам уже известно, что если на тело действуют две равные по модулю, но противоположно направленные силы, то они уравновешивают друг друга. Всегда ли это верно? Это верно для случая, когда силы направлены по одной прямой.

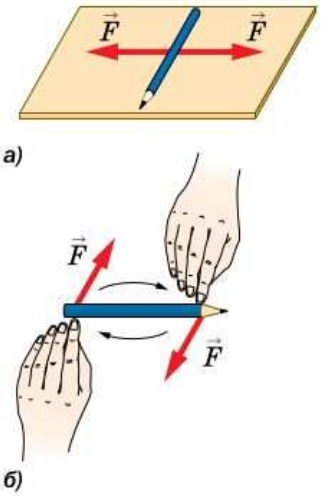


Рис. 169. Действие двух сил на тело

Положите карандаш на стол, подействуйте на него с равным усилием пальцами рук в любой точке в противоположных направлениях, но по одной прямой, как показано на рисунке 169, *а*. Силы уравновешивают друг друга.

Изменим условия опыта. Одновременно подействуйте параллельно на разные концы карандаша. Силы по-прежнему равны и противоположно направлены, но приложены к разным точкам и действуют не вдоль одной прямой. Линии действия этих сил параллельны, но не совпадают (рис. 169, *б*). Карандаш начал поворачиваться, значит, действие таких сил не компенсируется.

Подобные явления мы часто наблюдаем в жизни: поворот руля велосипеда, наклон дерева под действием ветра, движение подкидной доски в номере циркового акробата.

Рассмотрим ситуацию, когда тело может вращаться относительно некоторой оси, неподвижной относительно поверхности Земли. Исследуем условия, при которых такое тело находится в равновесии (все его части неподвижны относительно поверхности Земли). Для удобства исследования возьмём деревянную планку с отверстием в центре. Закрепим её в штативе на оси, находящейся посередине планки (рис. 170). По разные стороны от оси прикрепим грузы. С их помощью будем действовать одновременно на обе стороны планки.

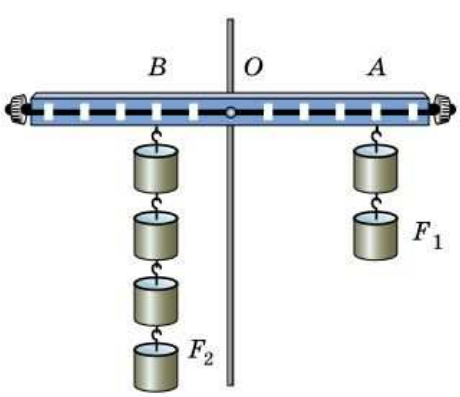


Рис. 170. Равновесие рычага с осью вращения

Подвесим справа от оси два груза (масса каждого груза 100 г), а слева четыре таких же груза. Планка не поворачивается, если расстояние от оси до точки подвеса правых грузов OA в 2 раза больше, чем аналогичное расстояние OB слева. Значит, действие силы справа уравновешивается действием силы слева.

Заметим, что на левую часть планки действует сила 4 Н, т. е. в 2 раза большая, чем на правую часть планки — 2 Н.

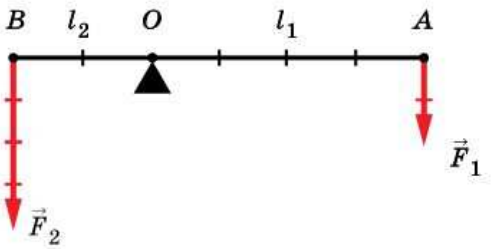


Рис. 171. Графическое изображение рычага с осью вращения

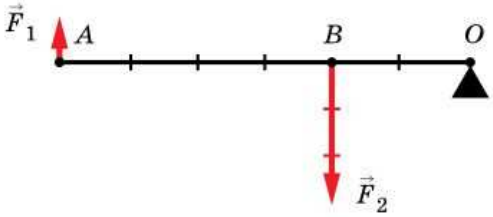
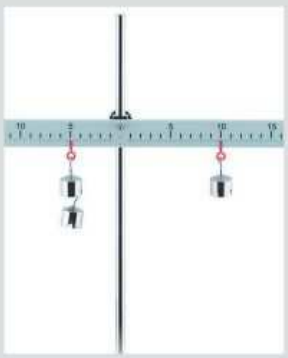


Рис. 172. Равновесие рычага второго рода

В этом опыте, схема которого приведена на рисунке 171, мы познакомились с рычагом.

Рычагом называют любое твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси или точки опоры.



Рычаг демонстрационный

Мы рассмотрели рычаг, у которого точки приложения сил (A и B) находятся по разные стороны от оси вращения (O). Такой рычаг называют рычагом *первого рода*. При равновесии рычага первого рода обе действующие на рычаг силы направлены в одну сторону, но стремятся повернуть его в противоположные стороны — сила $\vec{F}_1$ по ходу часовой стрелки, сила $\vec{F}_2$ против хода часовой стрелки (см. рис. 171).

Существуют и такие рычаги, у которых точки приложения сил находятся по одну сторону от оси вращения. Эти рычаги называют рычагами *второго рода* (см. рис. 167, *б*). При равновесии рычага второго рода (рис. 172) приложенные к нему силы направлены в противоположные стороны.

Сформулируем условие равновесия рычага, используя результаты опыта, изображённого на рисунке 170. Для этого введём понятие ***плеча силы***.

Длину перпендикуляра, проведённого от оси вращения рычага до линии действия силы[1], называют плечом силы.

[1] Линия действия силы — это прямая, на которой лежит вектор силы.



Рычаг лабораторный

На рисунках 171 и 172 плечами сил F_1 и F_2 являются соответственно расстояния $l_1 = OA$ и $l_2 = OB$. Сравнив силы F_1 и F_2 (см. рис. 171), действующие на рычаг, и их плечи l_1 и l_2, получим следующее ***условие (правило) равновесия рычага.***

Рычаг находится в равновесии тогда, когда силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.

Это правило описывается формулой

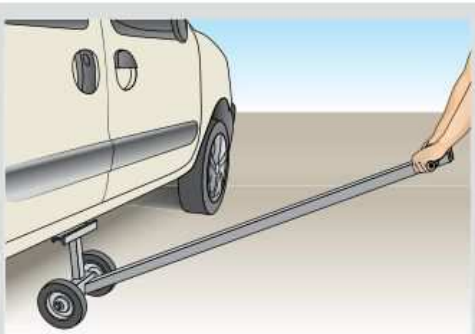
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

и справедливо для рычагов как первого (см. рис. 171), так и второго рода (см. рис. 172).

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

Правило равновесия рычага было установлено Архимедом. Согласно этому правилу, используя рычаг, можно меньшей силой уравновесить бóльшую силу. Например, если одно плечо рычага в 2 раза больше другого (см. рис. 171), то приложенную в точке B силу 1000 Н можно уравновесить, приложив в точке A силу 500 Н.

Может ли мальчик удержать автомобиль массой 600 кг с помощью рычага? Вес автомобиля равен примерно 6000 Н. Пусть сила, которую прикладывает мальчик, равна 300 Н. Значит, плечо этой силы должно быть в 20 раз длиннее плеча веса автомобиля. В этом случае рычаг будет в равновесии.



Использование рычажного домкрата

Что произойдёт, если мальчик будет действовать с большей силой? Рычаг начнёт поворачиваться. Другими словами, с помощью рычага мальчик может приподнять автомобиль. Рычаг — один из первых простых механизмов, который начал использовать человек. Ведь рычагом может служить любая палка.

1. Что называют рычагом? Приведите примеры рычагов. 2. Дайте определение плеча силы. 3. Составьте правило нахождения плеча силы. 4. Сформулируйте правило равновесия рычага.

1. Когда палку держат в руках за концы, то её трудно переломить. Если же середину палки положить на подставку, то переломить палку будет легче. Почему?

2. Докажите, что равноплечий рычаг не даёт выигрыша в силе.

УПРАЖНЕНИЕ 34

1. К концам рычага, находящегося в равновесии, приложены вертикальные силы 25 и 15 Н. Длинное плечо рычага равно 15 см. Какова длина короткого плеча?
2. На концы рычага действуют вертикальные силы 8 и 40 Н. Длина рычага 90 см. Где расположена точка опоры, если рычаг находится в равновесии? Выполните рисунок.
3. На рычаге уравновешены две гири разной массы, но изготовленные из одного материала. Изменится ли равновесие рычага, если обе гири поместить в воду?

§ 54 МОМЕНТ СИЛЫ

В предыдущем параграфе вы познакомились с правилом равновесия рычага:

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

Это выражение представляет собой пропорцию. Преобразуем его, используя основное свойство пропорции. Получим

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

$M = Fl$

Итак, для равновесия рычага необходимо, чтобы произведение силы, вращающей рычаг по ходу часовой стрелки, на её плечо было равно произведению силы, вращающей рычаг против хода часовой стрелки, на плечо этой силы.

Произведение силы на её плечо называют ***моментом силы***, обозначают буквой M:

$$\boldsymbol{M = Fl.}$$

Единица момента силы в СИ — *ньютон-метр* (**Н · м**).

Момент силы равен 1 Н · м, *если плечо силы* 1 Н *равно* 1 м.

Моментом силы характеризуют способность силы вращать тело. Вам хорошо известно, что гайку легче отвернуть длинным гаечным ключом, а дверь легче открыть, действуя на неё далеко от оси вращения. Дело в том, что благодаря большему плечу силы то же самое значение момента силы получается при меньшей прикладываемой силе.

Рычаг находится в равновесии под действием двух сил, если момент силы, вращающей его по ходу часовой стрелки, равен моменту силы, вращающей его против хода часовой стрелки.

Это правило называют ***правилом моментов***. Его можно записать в виде формулы:

$$M_1 = M_2.$$

В случаях, когда на рычаг действует более двух сил, он находится в равновесии, если равны *суммы* моментов сил, вращающих его по ходу и против хода часовой стрелки.

1. Что такое момент силы? По какой формуле его можно рассчитать? **2.** В каких единицах измеряют момент силы? **3.** В чём состоит правило моментов?

УПРАЖНЕНИЕ 35

1. Вычислите моменты сил (рис. 173). Будет ли рычаг находиться в равновесии?

2*. Чему равен момент силы, если линия действия силы проходит через ось вращения?

3. Можно ли дверь (рис. 174) считать рычагом?

4. Как легче открыть дверь — толкнув её около ручки или посередине?

5. Может ли ученик силой 10 Н приподнять ящик массой 50 кг?

6*. Будет ли рычаг (рис. 175) находиться в равновесии?

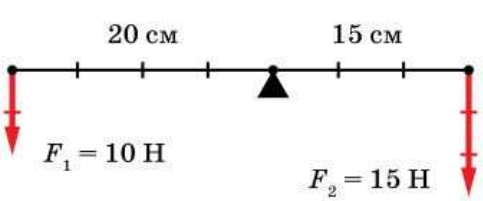


Рис. 173

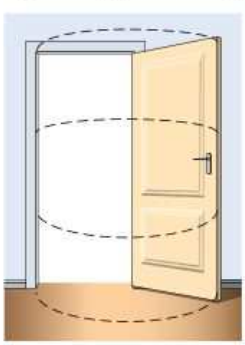


Рис. 174

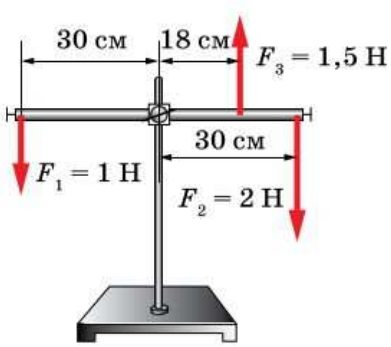


Рис. 175

ЗАДАНИЕ 38

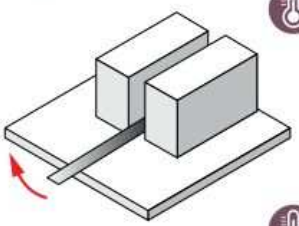


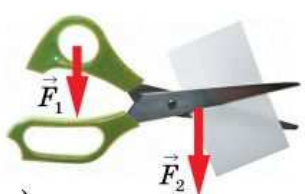
Рис. 176

1. Два одинаковых тяжёлых ящика стоят на земле, их надо раздвинуть. Для этого между ними просовывают лом (рис. 176). Конец лома двигают в направлении, указанном стрелкой на рисунке. Какой ящик сдвинется? Ответ проверьте на модели, используйте вместо ящика книги, вместо лома линейку.
2. Найдите рычаги в организме человека, перечислите их.
3. Полоску из жести уравновесьте на пальце или гладком карандаше. Проверьте, нарушится ли равновесие, если согнуть один из концов полоски. Объясните почему.

§ 55 РЫЧАГИ В ТЕХНИКЕ, БЫТУ И ПРИРОДЕ

Оглянемся вокруг, посмотрим на различные приспособления и механизмы. Где в них «спрятались» рычаги? Например, ножницы — два рычага на общей оси (рис. 177). Ось вращения проходит через винт, соединяющий обе половины ножниц. Ножницы позволяют получить выигрыш в силе. Действующей силой F_1 является мускульная сила руки человека, сжимающего ножницы. Противодействующей силой F_2 — сила сопротивления того материала, который режут ножницами. В зависимости от назначения ножниц соотношение длин лезвий и ручек, т. е. плеч сил F_1 и F_2 (рис. 177, *а*), может быть различным (рис. 177, *б*, 178).

Рычаг используется для определения массы тел. Рычажные весы (рис. 179) называют так потому, что их действие основано на правиле равновесия рычага.



а)



б)

Рис. 177. Ножницы:
а — бытовые; *б* — для резки листового металла



Рис. 178. Кусачки



Рис. 179. Весы рычажные



Гаечный ключ является рычагом

Кисть вашей руки — 27 рычагов! Клавиша выключателя, дужка очков, качели-балансир, гаечный ключ, отвёртка, весло, педали велосипеда — всё это примеры рычагов. Многие виды спортивных тренажёров основаны на рычажной тяге. Подъёмные краны, экскаваторы, плотины гидроэлектростанций проектируются и строятся с учётом условия равновесия рычага.

Недаром Архимед, восхищённый свойствами рычага, воскликнул однажды: «Дайте мне точку опоры, и я переверну Землю!»

1. Укажите признаки, по которым ножницы (см. рис. 177) можно отнести к рычагам. 2. Объясните, почему при использовании ножниц для резки листового металла и кусачек (см. рис. 177, *б* и 178) получают выигрыш в силе. 3. Где в быту применяются рычаги?



Рис. 180

1. Подумайте, при соблюдении какого условия твёрдое тело может выполнить роль рычага.

2. Рассмотрите рисунок 180. Объясните, почему предплечье является рычагом второго рода.

ЗАДАНИЕ 39

- Используя Интернет и другие источники информации, подготовьте сообщение о рычажных тренажёрах, предназначенных для исправления осанки.

§ 56 ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛА РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА К БЛОКУ

Одна из разновидностей рычага — ***блок***. Основной частью блока является колесо с жёло-



Рис. 181. Неподвижный блок

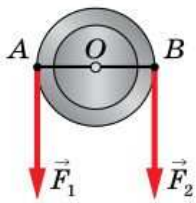


Рис. 182. Неподвижный блок как равноплечий рычаг



Рис. 183. Подвижный блок

бом, через который пропускают верёвку или трос. Блоки бывают подвижные и неподвижные.

Блок является *неподвижным*, если его ось неподвижно закреплена (рис. 181).

Покажем, что неподвижный блок можно рассматривать как равноплечий рычаг. Для того чтобы удержать груз, действующий на левый конец верёвки с силой $\vec{F}_1$, нужно приложить силу $\vec{F}_2$ к правому концу верёвки (рис. 182). Плечи этих сил — расстояния OA и OB от оси блока O до точек приложения сил A и B. Поскольку $OA = OB$ (плечи обеих сил равны радиусу блока), то неподвижный блок является равноплечим рычагом.

Вы знаете, что если плечи рычага равны, то он не даёт выигрыша в силе. Следовательно, **неподвижный блок не даёт выигрыша в силе, а только изменяет направление её действия.**

Помимо неподвижного блока, широкое применение получил *подвижный блок*. Его ось может подниматься и опускаться вместе с грузом, так как она не закреплена (рис. 183). На рисунке 184 изображена схема подвижного блока, где стрелками показаны действующие силы. Подвижный блок подобен рычагу с точкой опоры O, расположенной на его конце. Вес груза $\vec{P}$ приложен к точке A, мы тянем за верёвку с силой $\vec{F}$, приложенной к точке B. Плечо силы P — отрезок OA, длина его равна радиусу

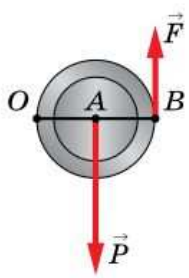


Рис. 184. Подвижный блок как рычаг с неравными плечами



Рис. 185. Комбинация подвижного и неподвижного блоков — полиспаст

блока. Плечо силы F — отрезок OB, равный диаметру блока. Плечо OB в 2 раза больше плеча OA, значит, сила F в 2 раза меньше силы P:

$$F = \frac{P}{2}.$$

Таким образом, **применение подвижного блока позволяет получить выигрыш в силе в 2 раза.**

На практике часто используют комбинацию подвижного блока с неподвижным (рис. 185). Выигрыш в силе даёт подвижный блок, а неподвижный блок используется для удобства. Он позволяет выбрать удобное направление воздействия на трос, например, чтобы поднимать груз, стоя на земле. Такие комбинации блоков (полиспасты) применяют, в частности, альпинисты для подъёма в горах, переправы через реки.

1. Что такое блок? **2.** Какие типы блоков вам известны? Охарактеризуйте каждый из них. **3.** Докажите, что неподвижный и подвижный блоки можно рассматривать как рычаги. **4.** Приведите примеры применения блоков разных типов.

§ 57 РАВЕНСТВО РАБОТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТЫХ МЕХАНИЗМОВ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

Вы познакомились с простыми механизмами: рычагом, наклонной плоскостью. Они позволяют получить выигрыш в силе, но можем ли мы с помощью этих механизмов получить выигрыш и в работе?

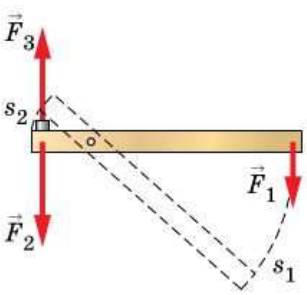


Рис. 186. Выигрываем в силе, но проигрываем в расстоянии

Для ответа на этот вопрос рассмотрим рычаг первого рода (рис. 186). Рычаг находится в равновесии. При этом к его правому концу мы прикладываем силу $\vec{F}_1$, а на левый конец действует сила $\vec{F}_2$ со стороны груза. Сам рычаг действует на груз с силой $\vec{F}_3$, равной по модулю и противоположной по направлению силе $\vec{F}_2$.

При повороте рычага точка приложения силы $\vec{F}_1$ проходит больший путь, чем точка при-

ложения силы $\vec{F}_2$: $s_1 > s_2$. Опыт показывает, что *пути, пройденные точками приложения сил, обратно пропорциональны силам*:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}.$$

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

Используя основное свойство пропорции, получим

$$F_1 s_1 = F_2 s_2.$$

Действуя на рычаг с силой $\vec{F}_1$, мы совершили работу $A = F_1 s_1$. При этом сам рычаг, действуя на груз с силой $\vec{F}_3$, совершил работу $A_{\text{рыч}} = F_3 s_2 = F_2 s_2$. Поскольку $F_1 s_1 = F_2 s_2$, то $A = A_{\text{рыч}}$ — работы сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_3$ одинаковы.

Значит, **рычаг не даёт выигрыша в работе.**

Получить выигрыш можно либо в силе, проиграв в расстоянии, либо в расстоянии, проиграв в силе.

Во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии.

Это правило называют ***«золотым правилом» механики.***

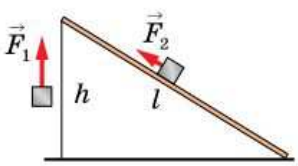


Рис. 187. Наклонная плоскость даёт выигрыш в силе

«Золотое правило» механики относится ко всем простым механизмам. Так, используя для подъёма груза наклонную плоскость (рис. 187), мы хоть и выигрываем в силе ($F_2 < F_1$), но проигрываем в расстоянии ($l > h$), причём оказывается, что $\frac{l}{h} = \frac{F_1}{F_2}$ (справедливо для гладкой наклонной плоскости). Отсюда следует, что $A_1 = A_2$, т. е. выигрыша в работе не происходит. Таким образом, ни один простой механизм не даёт выигрыша в работе.

1. Запишите соотношение между силами, действующими на рычаг, и расстояниями, пройденными точками приложения этих сил (см. рис. 186) при повороте рычага. **2.** В чём состоит «золотое правило» механики? **3.** Объясните, почему рычаг не позволяет получить выигрыш в работе. **4.** Можно ли получить выигрыш в работе, используя наклонную плоскость? Почему?

УПРАЖНЕНИЕ 36

1. Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза. Объясните, почему применение такого блока не позволяет выиграть в 2 раза в работе.
2. На какую высоту подняли груз с помощью подвижного блока, если свободный конец верёвки был вытянут при этом на 3 м?
3. Плечи рычага, находящегося в равновесии, соответственно равны 15 и 90 см. Меньшая сила, действующая на рычаг, равна 1,2 Н. Найдите большую силу. Какой выигрыш можно получить с помощью этого рычага в силе; в работе?

4*. Какой выигрыш в силе можно получить при подъёме груза по наклонной плоскости с углом наклона 30° к горизонту?

§ 58 КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЗМА

Как вам уже известно, при использовании простых механизмов выигрыша в работе не получают. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Работу по приведению механизма в действие будем называть *затраченной* (полной) *работой* $A_з$, а работу, совершаемую с помощью механизма, — *полезной работой* $A_п$. Так, затраченной является работа, которую мы совершаем, перемещая конец рычага, а полезной — работа по перемещению рычагом груза.

Оказывается, равенство затраченной и полезной работ («золотое правило» механики) в точности соблюдается только в идеальном случае, когда нет трения, а детали механизма невесомы.

В реальных механизмах присутствует сила трения, а детали обладают массой. Это приводит к тому, что полезная работа оказывается меньше затраченной. Так, при подъёме груза с помощью подвижного блока совершается дополнительная работа по подъёму самого блока, верёвки и по преодолению силы трения в оси блока.

Таким образом, в любом механизме только часть затраченной работы идёт на совершение полезной, т. е.

$$A_п < A_з, \text{ или } \frac{A_п}{A_з} < 1.$$

Чем больше доля полезной работы, тем эффективнее работа машины или любого другого

устройства. Такую эффективность работы различных механизмов характеризуют ***коэффициентом полезного действия*** (КПД).

Коэффициентом полезного действия механизма называют отношение полезной работы к затраченной (полной).

$$\text{КПД} = \frac{A_\text{п}}{A_\text{з}}.$$

$$\text{КПД} = \frac{A_\text{п}}{A_\text{з}}$$

КПД обозначают греческой буквой η («эта»).

Коэффициент полезного действия не имеет единиц измерения. Это объясняется тем, что в числителе и знаменателе формулы стоят физические величины, имеющие одинаковую единицу. Из определения следует, что КПД < 1. Часто его выражают в процентах (%):

$$\eta = \frac{A_\text{п}}{A_\text{з}} \cdot 100\%.$$

$$\eta = \frac{A_\text{п}}{A_\text{з}} \cdot 100\%$$

КПД любого механизма меньше 100%. Конструируя механизмы, стремятся сделать так, чтобы их КПД был как можно ближе к 100%.

Если $\eta = 90\%$, то это означает, что из 100 Дж совершённой работы полезная работа составляет только 90 Дж.

Пример. Высота наклонной плоскости 1,2 м, а длина — 12 м. Для подъёма по ней груза весом 2000 Н потребовалась сила 250 Н. Определите КПД наклонной плоскости.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$h = 1{,}2$ м

$l = 12$ м

$P = 2000$ Н

$F = 250$ Н

η — ?

Решение:

Коэффициент полезного действия по определению

$$\eta = \frac{A_\text{п}}{A_\text{з}} \cdot 100\%.$$

Полезная работа заключается в подъёме груза на высоту h:

$A_\text{п} = Ph.$

Затраченная работа: $A_з = Fl$.

Тогда

$$\eta = \frac{Ph}{Fl} \cdot 100\%,$$

$$\eta = \frac{2000\ \text{Н} \cdot 1{,}2\ \text{м}}{250\ \text{Н} \cdot 12\ \text{м}} \cdot 100\% = 0{,}8 \cdot 100\% = 80\%.$$

Ответ: $\eta = 80\%$.

1. Чем полезная работа отличается от затраченной? **2.** Какая информация содержится в значении коэффициента полезного действия? **3.** Как определить КПД? Какие значения он может принимать? **4.** Почему инженеры стремятся увеличить КПД машин и механизмов? Как этого можно достичь?

1. Почему неправильно говорить, что КПД измеряется в процентах?

2*. При подъёме грузов используется как наклонная плоскость, так и наклонный транспортёр — лента, движущаяся по роликам. Какой из этих механизмов имеет больший КПД? Почему?

УПРАЖНЕНИЕ 37

1. Рабочий поднимает мешок с песком массой 80 кг на высоту 1,5 м с помощью наклонной плоскости длиной 3 м, прикладывая силу 500 Н в направлении движения мешка. Каков КПД наклонной плоскости?
2. С помощью рычага груз массой 100 кг подняли на высоту 0,2 м. При подъёме этого груза к длинному плечу рычага была приложена сила 500 Н, под действием которой конец рычага опустился на 0,6 м. Найдите КПД рычага.
3. Поднимая груз по наклонной плоскости на высоту 2 м, совершили работу 3000 Дж. Определите массу груза, если КПД наклонной плоскости 80%.

§ 59 МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

С понятием работы тесно связано важнейшее понятие физики — ***энергия*** (в пер. с греч. «действие, деятельность»). *Если тело или система тел могут совершить работу, то говорят, что они обладают энергией.*

Например, сжатая пружина обладает энергией, так как, распрямляясь, она может совершить работу — поднять на некоторую высоту груз (рис. 188).

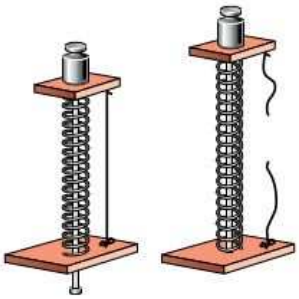


Рис. 188. Совершение работы сжатой пружиной при её распрямлении

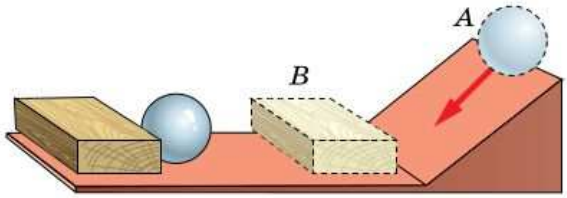


Рис. 189. Совершение работы шариком, скатывающимся по наклонной плоскости

Обладает энергией и поднятый над землёй неподвижный груз, потому что при падении он совершит работу (например, может забить в землю сваю).

У любого движущегося тела есть энергия, так как такое тело может совершить работу. Например, движущийся молоток может забить гвоздь. Стальной шарик A, скатившись с наклонной плоскости (рис. 189), передвигает деревянный брусок B, находящийся на его пути, на некоторое расстояние. При этом совершается работа.

Энергия — физическая величина. *Чем бóльшую работу может совершить тело, тем большей энергией оно обладает.* При совершении работы энергия тел уменьшается. *Совершённая работа равна убыли энергии.*

Энергию обозначают буквой E, измеряют в тех же единицах, что и работу, т. е. в *джоулях*.

Существует много различных видов энергии — механическая, внутренняя, электрическая, атомная и др.

В механике изучают механическую энергию. Существует два вида механической энергии: *кинетическая* и *потенциальная*.

Кинетическая энергия — это энергия, которой обладает тело вследствие своего движения.

Выяснить, от чего зависит кинетическая энергия тела, можно, поставив эксперимент, аналогичный изображённому на рисунке 189. Опыт показывает, что чем с большей высоты

скатывается шарик (чем больше его скорость у основания наклонной плоскости), тем дальше передвигается брусок. Чем дальше передвигается брусок, тем больше совершённая работа. Чем больше совершённая работа, тем большей кинетической энергией обладал шарик в момент столкновения с бруском. Таким образом, кинетическая энергия тела зависит от его скорости. **Чем больше скорость тела, тем большей кинетической энергией оно обладает.**

Если теперь заменить шарик в опыте на более тяжёлый (начальная высота шариков одинакова), то окажется, что он передвинет брусок на большее расстояние. Значит, будет совершена бóльшая работа. Следовательно, кинетическая энергия тела зависит от его массы. **Чем больше масса тела, тем больше его кинетическая энергия.**

$$E_к = \frac{mv^2}{2}$$

Для того чтобы определить кинетическую энергию тела, применяют формулу:

$$E_к = \frac{mv^2}{2},$$

где $E_к$ — кинетическая энергия, m — масса тела, v — его скорость движения.

В результате работы, совершаемой движущимся телом, его кинетическая энергия уменьшается. *Работа равна убыли кинетической энергии тела.*

Энергией обладают и покоящиеся тела. Сжатая или растянутая пружина может совершить работу, возвращаясь в исходное состояние (например, в механических часах), а значит, она обладает энергией. Такую энергию называют потенциальной и обозначают буквой $E_п$.

Потенциальная энергия — это энергия, которой обладают тела вследствие взаимодействия между собой или тело вследствие взаимодействия его частей друг с другом.



Рис. 190. Машина для забивания свай

Потенциальная энергия определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.

Потенциальной энергией обладает тело, поднятое над землёй. Действительно, если такое тело отпустить, то, падая, оно сможет совершить работу, например передвинуть другое тело (рис. 190). Чем выше над землёй поднято тело, тем бóльшую работу оно может совершить.

После падения на землю тело уже не может совершить работу, поэтому считают, что потенциальная энергия тела, лежащего на земле, равна нулю. Тогда потенциальная энергия тела, находящегося над землёй на какой-то высоте, равна работе силы тяжести, совершаемой при падении тела на землю: $E_п = A$.

По определению работы она равна произведению силы F на путь h, следовательно,

$$A = Fh.$$

$\boldsymbol{E_п = mgh}$

В этом случае путь равен высоте тела над землёй. Так как сила тяжести $F_{тяж} = mg$, то

$$\boldsymbol{E_п = F_{тяж}h} \quad \text{и} \quad \boldsymbol{E_п = mgh},$$

где g — ускорение свободного падения.

Обратим внимание, что потенциальная энергия тела, поднятого над землёй, — это энергия взаимодействия тела и Земли. Строго говоря, она относится не к одному телу, а к системе, которую составляют тело и Земля. Если бы тело и Земля не притягивались друг к другу, то не было бы и потенциальной энергии.

Потенциальной энергией обладает всякое упруго деформированное тело (например, сжатая или растянутая пружина). В данном случае отдельные части тела взаимодействуют друг с другом силами упругости. Потенциальная

энергия упруго деформированного тела определяется взаимным расположением его частей. Чем больше сжата или растянута пружина, тем больше её потенциальная энергия (тем бóльшую работу она совершит, возвращаясь в недеформированное состояние).

Часто тела обладают и потенциальной, и кинетической энергией. Например, летящий самолёт обладает потенциальной энергией, поскольку он находится на некоторой высоте над поверхностью Земли, и кинетической энергией, поскольку он движется относительно Земли.

Сумму кинетической и потенциальной энергии тела (системы тел) называют механической энергией.

В случае системы тел её кинетическая энергия представляет собой сумму кинетических энергий отдельных тел, а потенциальная — сумму потенциальных энергий всех пар взаимодействующих тел.

Пример. Тело массой 3 кг, падающее с высоты 10 м, пролетев половину расстояния до земли, приобрело скорость $10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Чему равна в этот момент потенциальная и кинетическая энергия тела?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$h = 10$ м

$h_1 = \frac{h}{2}$

$m = 3$ кг

$v = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$g = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$E_\text{п}$ — ?

$E_\text{к}$ — ?

Решение:

Тело, поднятое над землёй, обладает потенциальной энергией:

$E_\text{п} = mgh$.

На середине пути потенциальная энергия тела:

$E_\text{п} = mgh_1 = mg\frac{h}{2}$.

Поскольку в этот момент скорость тела равна v, то оно обладает кинетической энергией:

$E_\text{к} = \frac{mv^2}{2}$.

$$E_{\text{п}} = 3\ \text{кг} \cdot 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{10\ \text{м}}{2} = 150\ \text{Дж},$$

$$E_{\text{к}} = \frac{3\ \text{кг} \cdot \left(10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2} = 150\ \text{Дж}.$$

Ответ: $E_{\text{п}} = 150$ Дж, $E_{\text{к}} = 150$ Дж.

1. Что такое энергия? **2.** В каких единицах измеряется энергия? Почему единицы энергии и работы одинаковы? **3.** Какие виды энергии вам известны? Чем они отличаются друг от друга? **4.** Приведите примеры тел, обладающих кинетической энергией. Как кинетическую энергию уменьшить до нуля? **5.** Какие тела обладают потенциальной энергией? **6.** Почему потенциальная энергия зависит от взаимного положения тел или частей тела? **7.** Как экспериментально доказать, что тело, поднятое над землёй, обладает потенциальной энергией? **8.** Почему потенциальная энергия не изменяется при движении тела по горизонтали? **9.** Что называют механической энергией тела?

1. Определите характер зависимости потенциальной энергии тела, поднятого над землёй, от ускорения свободного падения, массы тела, высоты, на которую поднято тело.

2. На одной и той же высоте находятся кусок мрамора и кусок свинца одинакового объёма. Какое из этих тел обладает большей потенциальной энергией?

УПРАЖНЕНИЕ 38

1. Два тела массами m и $2m$ имеют одинаковые скорости. Сравните кинетические энергии этих тел. Сделайте вывод.

2. Два тела имеют одинаковые массы, но у первого тела скорость в 2 раза больше. Сравните кинетические энергии этих тел. Сделайте вывод.

3. Чему равна кинетическая энергия мяча массой 0,5 кг, если он летит со скоростью 72 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

4*. С какой скоростью должен бежать человек массой 50 кг, чтобы его кинетическая энергия была равна 1,6 кДж? Как изменится кинетическая энергия человека, если его скорость изменится вдвое?

5. Какую работу должен совершить человек, чтобы его кинетическая энергия изменилась на 50 Дж?

6. Два шара массами m и $2m$ подняли на высоту $2h$ и h соответственно. Сравните их потенциальные энергии. Сделайте вывод.

7. На сколько увеличивается потенциальная энергия ведра с водой массой 10 кг при подъёме из колодца на высоту 6 м?

ЗАДАНИЕ 40

- Определите изменение потенциальной энергии вашего тела при подъёме с первого этажа на второй.

§ 60 ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОДНОГО ВИДА В ДРУГОЙ

Очень часто тела обладают и кинетической, и потенциальной энергией одновременно. Что происходит с кинетической и потенциальной энергией при движении тела? Может ли измениться механическая энергия тела?

Рассмотрим опыт, изображённый на рисунке 191. На земле лежит стальная плита. На высоте h над плитой удерживают стальной шарик. При этом он обладает потенциальной энергией $E_п = mgh$.

Если выпустить шарик из рук, благодаря притяжению к Земле он будет двигаться вниз. Его высота над плитой начнёт уменьшаться. Поэтому и потенциальная энергия тоже уменьшится. Значит ли это, что энергия исчезает? Нет, так как скорость шарика в процессе падения увеличивается. Следовательно, его кинетическая энергия $E_к$ будет увеличиваться. Так потенциальная энергия переходит в кинетическую.

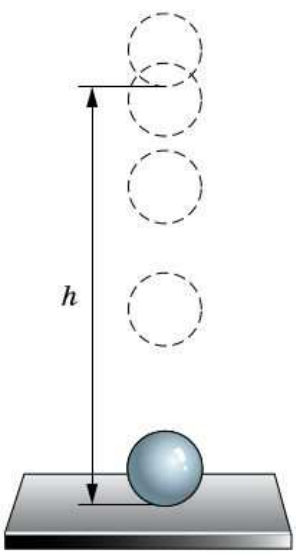


Рис. 191. При падении потенциальная энергия шарика превращается в кинетическую

Максимального значения кинетическая энергия достигнет в момент падения шарика на плиту. В это же мгновение высота шарика h над плитой, а значит, и его потенциальная энергия станут равными нулю. Вся потенциальная энергия перешла в кинетическую.

При ударе шарика о плиту происходит деформация как шарика, так и плиты. Кинетическая энергия шарика переходит в потенциальную энергию деформированных шарика и плиты. В результате действия упругих сил ша-

рик и плита примут свою первоначальную форму, шарик отскочит от плиты. Потенциальная энергия вновь перейдёт в кинетическую.

Шарик, отскочив от плиты, станет подниматься вверх и замедляться. Его кинетическая энергия будет уменьшаться, а потенциальная — увеличиваться. Кинетическая энергия снова перейдёт в потенциальную.



Рис. 192. Маятник Максвелла

Итак, рассмотренный опыт с шариком и плитой показывает, как происходит превращение энергии одного вида в энергию другого вида. Такими превращениями сопровождаются различные процессы в природе, технике и быту. Например, при падении воды с плотины её потенциальная энергия превращается в кинетическую. Периодически кинетическая и потенциальная энергии переходят друг в друга и в маятнике Максвелла (рис. 192).

Вернёмся к примеру с шариком. Когда он отскочил от плиты и поднимается вверх, кинетическая энергия переходит в потенциальную. Эксперименты показывают, что *при отсутствии сопротивления воздуха кинетическая энергия уменьшается на столько, на сколько увеличивается потенциальная энергия*. Это означает, что механическая энергия, равная сумме кинетической и потенциальной энергии, остаётся постоянной (сохраняется).

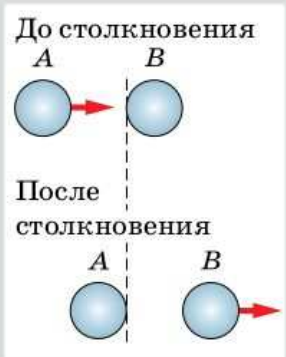
Как показали теоретические и экспериментальные исследования, механическая энергия системы тел сохраняется, если между телами действуют только силы тяготения и силы упругости. При этом важно, чтобы действием на рассматриваемую систему посторонних тел можно было бы пренебречь.

Таким образом, можно сформулировать ***закон сохранения механической энергии***:

механическая энергия системы тел, взаимодействующих только друг с другом и только силами тяготения и силами упругости, остаётся постоянной.

$$E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2},$$

где $E_{к1}$, $E_{п1}$ — кинетическая и потенциальная энергия системы в момент времени 1; $E_{к2}$, $E_{п2}$ — кинетическая и потенциальная энергия системы в момент времени 2.



Передача кинетической энергии от шара *A* шару *B*

Энергия может не только переходить из одного вида в другой, но и перераспределяться между телами системы. Например, в результате столкновения стального шара с другим таким же шаром, но неподвижным, первый шар останавливается, а второй начинает двигаться со скоростью, которой обладал первый шар до столкновения. В этом примере механическая энергия системы из двух шаров не изменяется, но происходит передача энергии от одного шара другому.

В реальных процессах механическая энергия обычно не остаётся постоянной, а уменьшается со временем. Дело в том, что в любой системе в той или иной форме действуют силы трения. В результате брусок, скользящий по столу, останавливается, колебания маятника затухают, мяч подскакивает на всё меньшую и меньшую высоту и в итоге остаётся лежать на полу.

Обратим внимание, что убывание механической энергии не означает, что энергия исчезает бесследно. В действительности она переходит из механической в другую форму. С этим другим видом энергии вы познакомитесь в следующем учебном году.

1. Как меняется потенциальная и кинетическая энергия при падении тела? **2.** Какие превращения энергии происходят при ударе стального шарика о стальную плиту? **3.** Приведите примеры физических явлений, в которых кинетическая и потенциальная энергия переходят друг в друга. **4.** Предложите эксперимент, подтверждающий, что энергия может переходить от одного тела к другому. **5.** Сформулируйте закон сохранения механической энергии.

Что, по вашему мнению, вносит наибольший вклад в энергию вылетающей из лука стрелы — корпус лука или тетива?

УПРАЖНЕНИЕ 39

1. Стальной шарик висит на нити. Отклоним его в сторону и отпустим. Какие превращения энергии при этом происходят?
2. Мяч массой 100 г подброшен с поверхности земли вертикально вверх со скоростью 20 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Чему равна его потенциальная энергия в высшей точке подъёма?

ЗАДАНИЕ 41

1. Проверьте на опыте закон сохранения механической энергии. Для этого сделайте наклонную плоскость, например, из кабель-канала. Высоту подберите таким образом, чтобы брусок начинал движение из верхней точки без вашей помощи. Движение бруска по наклонной плоскости прямолинейное равноускоренное с начальной скоростью, равной нулю. В этом случае скорость бруска у основания наклонной плоскости можно определить по формуле $v = \frac{2l}{t}$, где l — длина наклонной плоскости, t — время движения. Учитывая, что потенциальная энергия тела $E_{\text{п}} = mgh$, а кинетическая — $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$, можно сравнивать значения gh и $\frac{v^2}{2}$. Обсудите результаты опыта с одноклассниками и учителем. Какой вывод можно сделать на основе полученных результатов?
2. Посмотрите ролик «Маятник Максвелла» https://gotourl.ru/12654. Изучите принципы работы маятника. Почему маятник с течением времени поднимается на меньшую высоту? На что расходуется первоначальная энергия маятника?

ИТОГИ ГЛАВЫ

Механическая работа, мощность, простые механизмы, коэффициент полезного действия... Надеемся, что эти слова перестали быть для вас непонятными и сложными.

Вы можете объяснить, как изменяется энергия футбольного мяча в процессе игры, понимаете, когда воланчик при игре в бадминтон

нужно ударить сильнее. Можете применить правило равновесия рычага для устройства качелей на даче или во дворе, учесть условие равновесия при игре «Башня». Вы знаете, как выбрать и применить столярные и слесарные инструменты.

ОБСУДИМ?

Павел Петрович долго смотрел на то, как его сын Тимофей пытается вытащить гвоздодёром гвоздь из доски качелей. Тимофей учится в 7 классе, и недавно в школе на уроке физики они изучали простые механизмы. Работая гвоздодёром, Тимофей держал инструмент за самый конец рукоятки на весу, не опираясь гвоздодёром на доску качелей. Увидев, что Тимофей не может выдернуть гвоздь, Павел Петрович дал ему гвоздодёр с более длинной рукояткой. Однако у мальчика опять ничего не получилось. Нарисуйте схему механизма и приложенные к нему силы. Объясните, в чём были не правы Павел Петрович и его сын. Что надо было сделать, чтобы вытащить гвоздь гвоздодёром?

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Рычаги в быту и живой природе» (возможная форма: презентация, опыты, макеты, фотоальбом, викторина).
2. «Дайте мне точку опоры, и я переверну Землю» (возможная форма: презентация, опыты, фотоальбом, викторина).

Лабораторные работы



№ 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Цель работы Определить цену деления шкалы измерительного цилиндра, определить с его помощью объём жидкости.

Приборы и материалы Измерительный цилиндр, стакан с водой, небольшие сосуды.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Изучите шкалу измерительного цилиндра. Каковы минимальный и максимальный объёмы воды, которые можно измерить с помощью данного измерительного цилиндра? Заполните таблицу 7.

Таблица 7

Цена деления шкалы, мл	
Верхний предел измерения, мл	
Нижний предел измерения, мл	

2. Определите объём налитой жидкости. Для этого налейте некоторое количество воды из наполненного до краёв стакана в измерительный цилиндр.

Примечание Для уменьшения погрешности измерения следует глаз располагать на уровне, совпадающем с плоской частью поверхности жидкости (вода у стенок сосуда чуть приподнимается).

3. Определите вместимость стакана. Для этого долейте в измерительный цилиндр оставшуюся в стакане воду. Определите объём жидкости в измерительном цилиндре (вместимость стакана будет такой же).

4. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы измерительного цилиндра, записывайте в таблицу 8.

Таблица 8

№ опыта	Название* сосуда	Объём жидкости $V_ж \pm \Delta V$, мл	Вместимость* сосуда $V_с \pm \Delta V$, мл

* Для опыта 1 (п. 2) не заполняется.

5. Определите вместимость других сосудов, которые находятся на вашем столе.

6. Сделайте вывод.
Цена деления шкалы измерительного цилиндра составляет ...; с учётом абсолютной погрешности, равной ..., объём жидкости равен ...; вместимость сосудов — ... .

№ 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ

Цель работы Определить размеры малых тел способом рядов.

Приборы и материалы Линейка ученическая, горох, пшено (или круглые бусины, бисер), иголка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Определите диаметр одной горошины, применив для этого способ рядов, который заключается в следующем. Положите вплотную к линейке 20—30 горошин в ряд. Измерьте длину l ряда, разделите её на число N горошин в ряду.

2. **Обработка результатов измерений.** Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности записывайте в таблицу 9. Абсолютная погрешность измерения длины ряда равна цене деления шкалы линейки. Абсолютная погрешность измерения диаметра горошины будет в N раз меньше.

Таблица 9

№ опыта	Число частиц в ряду	Длина ряда $l \pm \Delta l$, мм	Размер одной частицы $d \pm \Delta d$, мм
1 (горох)			
2 (пшено)			
3 (пшено)			

3. Определите способом рядов размер крупинки пшена (бусинки, бисеринки).
4. Покажите на числовой оси для каждого опыта полученный интервал возможных значений диаметра малого тела.
5. Увеличьте количество крупинок пшена в 2 раза и определите диаметр крупинки ещё раз.
6. Сделайте вывод.

Дополнительное задание



Золото (Au)

Рис. 193

Определите способом рядов диаметр молекулы золота по фотографии (рис. 193, увеличение 5 миллионов).

1. Какой примерно диаметр молекулы по порядку величины вы получите?
2. Проанализируйте предложенный в п. 3 способ обработки результатов и составьте план выполнения задания.
3. **Обработка результатов измерений.** Результаты измерений без учёта абсолютной погрешности запишите в таблицу 10.

Таблица 10

Число частиц в ряду	Длина ряда l, мм	Размер одной частицы d, мм	
		На фотографии	Истинный

4. Сделайте вывод.

№ 3 ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА

Цель работы Измерить массу тела с помощью весов.

Приборы и материалы Весы рычажные с разновесами, электронные весы, несколько небольших тел разной массы.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Измерьте массу предложенных тел с помощью рычажных весов (см. п. 1 примечания). На левую чашу весов осторожно положите взвешиваемое тело. На правую чашу поставьте гири, начиная с большей. Методом подбора добейтесь равновесия весов (см. п. 2 примечания). Подсчитайте общую массу гирь, лежащих на правой чаше весов. Затем гири перенесите обратно в футляр.

Примечание 1. Перед взвешиванием проверьте, что весы уравновешены. При необходимости для установления равновесия на более лёгкую чашу весов следует положить полоску бумаги. 2. Гири следует брать пинцетом (рис. 194).

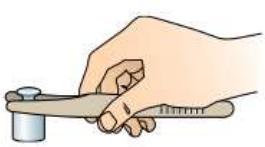


Рис. 194

2. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности запишите в таблицу 11. Абсолютную погрешность измерения массы считайте равной массе наименьшего разновеса, выводящего весы из равновесия.

Таблица 11

№ опыта	Название тела	Масса гирь, которыми уравновешено тело	Масса тела $m \pm \Delta m$, г

3. Проведите измерения массы этих же тел с помощью электронных весов.

Примечание Измерение массы каждого тела проведите не менее трёх раз.

4. **Обработка результатов измерений.** Вычислите среднее значение массы $m_{ср}$ по результатам многократных измерений по формуле: $m_{ср} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}$.

Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности (указана в паспорте электронных весов) и вычислений запишите в таблицу 12. О том, как определить погрешность $\Delta m_{ср}$, узнайте у учителя.

Таблица 12

Название тела	$m_1 \pm \Delta m$, г	$m_2 \pm \Delta m$, г	$m_3 \pm \Delta m$, г	$m_{ср} \pm \Delta m_{ср}$, г

5*. Покажите на числовой оси для каждого опыта интервал возможных значений массы.

6. Сравните результаты измерений на рычажных и электронных весах. Сделайте вывод, в каком случае провести измерения получилось с большей точностью (меньшей абсолютной погрешностью).

№ 4 ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЁМА ТВЁРДОГО ТЕЛА

Цель работы Измерить объём твёрдого тела с помощью измерительного цилиндра.

Приборы и материалы Измерительный цилиндр, металлический брусок, тела неправильной формы небольшого объёма (гайки, пластиковые игрушки, кусочки металла и др.), нитки.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Определите цену деления шкалы измерительного цилиндра.

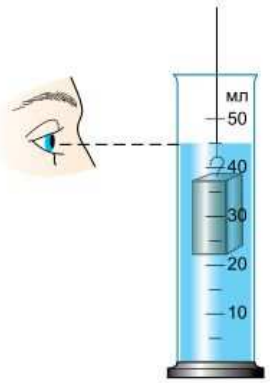


Рис. 195

2. Налейте в измерительный цилиндр столько воды, чтобы металлический брусок можно было полностью погрузить в воду, и измерьте её объём V_1.

3. Опустите металлический брусок, объём которого надо измерить, в воду полностью, удерживая его за нитку (рис. 195), и измерьте суммарный объём V_2 воды и бруска. Определите объём бруска $V = V_2 - V_1$.

4. Измерьте стороны бруска и рассчитайте его объём. Сравните его с объёмом, полученным в п. 3.

5. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы измерительного цилиндра, запишите в таблицу 13. Учтите, что абсолютная погрешность ΔV измерения объёма тела будет складываться из погрешности ΔV_1 измерения начального объёма и погрешности ΔV_2 измерения объёма воды и тела. Результаты вычислений объёма тела (части тела) запишите без учёта погрешности.

Таблица 13

№ опыта	Название тела/ части тела	Объём воды в измерительном цилиндре $V_1 \pm \Delta V_1$, см^3	Объём воды и тела/ части тела $V_2 \pm \Delta V_2$, см^3	Объём тела/ части тела $V \pm \Delta V$, см^3	Рассчитанный объём тела/части тела V, см^3

6. Погрузите брусок в воду наполовину, измерьте объём погружённой части бруска таким же способом, как вы это делали в п. 2, 3.

7. Рассчитайте объём погружённой в воду части бруска. Сравните его с объёмом, полученным в п. 6.



Рис. 196

8. Сделайте вывод о возможности измерения объёма твёрдого тела с помощью измерительного цилиндра.

9. Измерьте объём других имеющихся у вас тел описанным в п. 2, 3 способом.

Дополнительное задание

Если тело неправильной формы не входит в измерительный цилиндр, то его объём можно определить с помощью отливного сосуда (рис. 196). Предложите способ измерения объёма твёрдого тела в этом случае.

№ 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

Цель работы Определить плотность вещества твёрдого тела с помощью весов и измерительного цилиндра.

Приборы и материалы Весы рычажные с разновесами, измерительный цилиндр, твёрдое тело неизвестной плотности, нить.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Измерьте массу тела на весах (рис. 197, *а*).

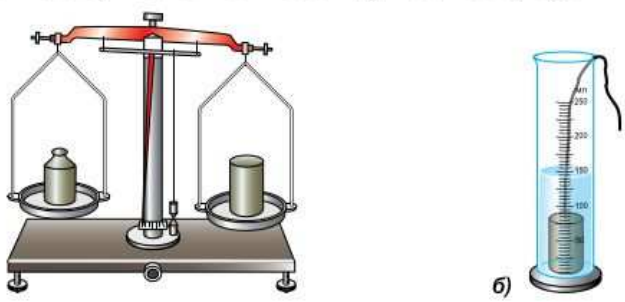


Рис. 197 *а)* *б)*

2. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности и вычислений записывайте в таблицу 14.

Таблица 14

Масса тела $m \pm \Delta m$, г	Объём тела $V \pm \Delta V$, см^3	Плотность вещества ρ	
		$\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

3. Измерьте объём тела с помощью измерительного цилиндра (рис. 197, *б*).

4. Проанализируйте таблицу 3, чтобы понять, в каких границах значений можно получить плотность твёрдого тела.

5. Рассчитайте по формуле $\rho = \frac{m}{V}$ плотность вещества, из которого сделано тело.

6. Сделайте вывод, попадает ли полученный результат в определённые вами границы значений.

7. По таблице 3 определите вещество, из которого может быть сделано данное тело.

№ 6 ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ УПРУГОСТИ

Цель работы Проверить справедливость гипотезы: «При небольших деформациях сила упругости прямо пропорциональна удлинению пружины».

Приборы и материалы Штатив с муфтой и лапкой, спиральная пружина, набор грузов массой 100 г каждый, линейка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Закрепите в лапке штатива конец пружины и линейку так, чтобы пружина была параллельна линейке.

2. Определите длину l_0 пружины в ненагруженном состоянии.

3. Подвешивая к пружине последовательно один груз, два, три и четыре груза, определите удлинение пружины $x = l - l_0$ и силу упругости $F_{\text{упр}}$ пружины для каждого случая.

Примечание Сила упругости пружины равна по модулю действующей на груз силе тяжести (тело находится в равновесии под действием двух сил, значит, эти силы равны по модулю и направлены в противоположные стороны).

4. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений запишите в таблицу 15 с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы линейки. Уч-

тите, что абсолютная погрешность Δx измерения удлинения пружины будет складываться из погрешности Δl_0 измерения начальной длины пружины и погрешности Δl измерения длины пружины в нагруженном состоянии.

Таблица 15

Число грузов	Начальная длина пружины $l_0 \pm \Delta l_0$, см	Длина нагруженной пружины $l \pm \Delta l$, см	Сила упругости пружины $F_{упр}$, Н	Удлинение $x \pm \Delta x$, см	Отношение удлинений и сил упругости	
					$\frac{x}{x_1}$	$\frac{F_{упр}}{F_{упр.\,1}}$
1						
2						
3						
4						

5. Найдите отношение удлинения пружины для двух, трёх и четырёх грузов к удлинению пружины с одним грузом.
6. Найдите отношение сил упругости пружины с двумя, тремя, четырьмя грузами к силе упругости пружины с одним грузом.
7. Проанализируйте результаты и сделайте вывод о справедливости гипотезы.

№ 7 ГРАДУИРОВАНИЕ ПРУЖИНЫ И ИЗМЕРЕНИЕ СИЛ ДИНАМОМЕТРОМ

Цель работы Проградуировать пружину, получить шкалу с заданной ценой деления и с помощью созданного динамометра измерить силы.

Приборы и материалы Динамометр, шкала которого закрыта бумагой (пружина на планшете с миллиметровой шкалой из набора «ГИА-лаборатория»), набор грузов массой 100 г каждый, штатив с муфтой и лапкой, линейка, груз неизвестной массы.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Укрепите динамометр с закрытой шкалой в лапке штатива вертикально. Отметьте на бумаге штрихом начальное положение указателя — это будет нулевая отметка шкалы.

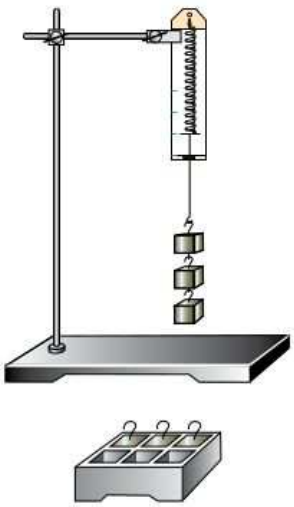


Рис. 198

2. Подвесьте к крючку динамометра последовательно один груз, два, три и четыре груза (рис. 198). Считайте, что на один груз действует сила тяжести, равная 1 Н.
Положение указателя динамометра для каждого случая отметьте горизонтальным штрихом.

3. Снимите динамометр со штатива и оцифруйте горизонтальные штрихи, начиная с верхней, проставив числа 0, 1, 2, 3, 4. Выше полученной шкалы укажите обозначение единицы силы (Н).

4. С помощью линейки разделите расстояние между штрихами так, чтобы цена деления шкалы была равна 0,1 Н.

5. Измерьте проградуированным динамометром вес груза неизвестной массы.

6. **Обработка результатов измерений.** Запишите показания динамометра с учётом абсолютной погрешности измерений, равной цене деления шкалы динамометра.

№ 8 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ОТ ПЛОЩАДИ СОПРИКОСНОВЕНИЯ ТЕЛ, ПРИЖИМАЮЩЕЙ СИЛЫ, РОДА ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы Исследовать зависимость силы трения скольжения от площади соприкосновения тел, прижимающей силы и рода поверхности.

Приборы и материалы Динамометр, деревянный брусок, набор грузов массой 100 г каждый, деревянная и пластиковая рейки.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Определите вес бруска.
2. Положите брусок на деревянную рейку широкой гранью. Прикрепите к бруску динамометр и равномерно перемещайте брусок по поверхности, держа динамометр горизонтально. При этом он будет показывать силу тяги, равную силе трения.
3. **Обработка результатов измерений.** Запишите в таблицу 16 показания динамометра с учётом абсолютной погрешности измерений, равной цене деления шкалы динамометра.

Таблица 16

№ опыта	Сила трения $F_{тр} \pm \Delta F$, Н		Вес тела $P \pm \Delta P$, Н
	Широкая грань бруска	Узкая грань бруска	

4. Положите брусок на доску узкой гранью и измерьте силу трения скольжения. Сравните показания динамометра в обоих опытах. Сравните силу трения с весом бруска.
5. Нагружая брусок поочерёдно одним грузом, а затем двумя, повторите измерения (см. п. 2—4).
6. Покажите на числовой оси интервал возможных значений веса тела.
7. Повторите п. 2, заменив деревянную рейку пластиковой.
8. Проанализируйте результаты измерений и сделайте вывод.

№ 9 ИЗУЧЕНИЕ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА ПОГРУЖЁННОЕ В ЖИДКОСТЬ ТЕЛО

Цель работы Исследовать зависимость выталкивающей силы, действующей на погружённое в жидкость тело, от плотности жидкости и объёма погружённой части тела.

Приборы и материалы Динамометр, штатив с муфтой и лапкой, нить, два тела одинакового объёма разной массы, стаканы с водой и насыщенным раствором поваренной соли в воде.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Укрепите динамометр в лапке штатива и подвесьте к нему на нити тело. Снимите показание динамометра, определив вес тела в воздухе P.

2. Подставьте стакан с водой и опустите муфту с лапкой и динамометром так, чтобы всё тело оказалось под водой. Снимите показание динамометра, определив вес тела в воде P_{1V_1}.

3. По полученным данным вычислите выталкивающую силу $F_{V_1} = P - P_{1V_1}$, действующую на тело.

4. **Обработка результатов измерений.** Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности запишите в таблицу 17. Абсолютная погрешность ΔP измерения веса тела равна цене деления шкалы динамометра. Абсолютная погрешность ΔF измерения выталкивающей силы равна $2\Delta P$.

Таблица 17

Жидкость	Вес тела в воздухе $P \pm \Delta P$, Н	Вес тела в жидкости $P_1 \pm \Delta P$, Н		Выталкивающая сила $F \pm \Delta F$, Н	
		P_{1V_1}	P_{1V_2}	F_{V_1}	F_{V_2}
Вода					
Насыщенный раствор соли в воде					

5. Определите выталкивающую силу, действующую на то же тело в насыщенном растворе поваренной соли.

6. Повторите п. 2—4, погружая тело в жидкость наполовину (V_2), и определите выталкивающую силу F_{V_2}, действующую на него в воде и в насыщенном растворе поваренной соли.

7. Покажите на числовой оси интервал возможных значений выталкивающей силы.

8. Проанализируйте результаты и сделайте выводы.

Дополнительное задание 1

Исследуйте, зависит ли выталкивающая сила от массы и плотности тела, повторив п. 1—4 для тел одинакового объёма разной массы. Сделайте вывод.

Дополнительное задание 2

Исследуйте зависимость выталкивающей силы от объёма погружённой части тела, повторив п. 1—4 для случая частичного погружения тела в воду. Сделайте вывод.

№ 10 ВЫЯСНЕНИЕ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ ТЕЛА В ЖИДКОСТИ

Цель работы Исследовать явление плавания тел в жидкости.

Приборы и материалы Весы рычажные с разновесами, измерительный цилиндр, пробирка (аптечный пузырёк) с пробкой, проволочный крючок, сухой песок, фильтровальная бумага или сухая тряпка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

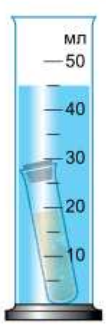


Рис. 199

1. Регулируя с помощью песка степень погружения пробирки в воду (рис. 199), добейтесь частичного погружения пробирки, полного погружения, опускания пробирки на дно сосуда.

2. Для каждого случая определите массу пробирки с песком и силу тяжести $F_{тяж} = mg$.

Примечание Перед тем как положить на весы пробирку с песком, протрите её фильтровальной бумагой или тряпкой.

3. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности,

равной цене деления шкалы прибора, и вычислений записывайте в таблицу 18. Отметьте, когда пробирка плавает и когда тонет или всплывает.

Таблица 18

№ опыта	Масса пробирки с песком $m \pm \Delta m$, кг	Сила тяжести пробирки с песком $F_{тяж}$, Н	Объём вытесненной воды $V \pm \Delta V$, м³	Выталкивающая сила, действующая на пробирку $F_А$, Н	Поведение пробирки в воде

4. Для каждого случая определите объём вытесненной воды и рассчитайте выталкивающую силу $F_А = \rho_ж Vg$.
5. Сделайте вывод об условии плавания тела в жидкости.

№ 11 ВЫЯСНЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

Цель работы Проверить на опыте условие равновесия рычага и правило моментов.

Приборы и материалы Рычаг на штативе, набор грузов массой 100 г каждый, линейка, динамометр.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Уравновесьте рычаг первого рода с помощью гаек на его концах так, чтобы он расположился горизонтально.
2. Подвесьте два груза на левой части рычага на некотором расстоянии l_1 от оси вращения. Опытным путём установите, на каком расстоянии l_2 справа от оси вращения надо подвесить: а) один груз; б) два груза; в) три груза, чтобы рычаг пришёл в горизонтальное равновесное положение.
3. **Обработка результатов измерений.** Считая, что каждый груз весит 1 Н, запишите в таблицу 19 результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы линейки, а вычислений без учёта погрешностей.

Таблица 19

№ опыта	Сила F_1 на левой части рычага, Н	Плечо $l_1 \pm \Delta l$, см	Сила F_2 на правой части рычага, Н	Плечо $l_2 \pm \Delta l$, см	Отношение сил и плеч		Момент силы	
					$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	M_1, Н · м	M_2, Н · м

4. Для каждого случая определите моменты сил $M_1 = F_1 l_1$ и $M_2 = F_2 l_2$, стремящихся повернуть рычаг в разные стороны.

5. Проанализируйте результаты и сделайте вывод.

Дополнительное задание

Исследуйте равновесие рычага второго рода.

1. Подвесьте два груза справа от оси вращения рычага на расстоянии 5 см.

2 С помощью динамометра определите, какую силу и как нужно приложить на расстоянии 20 см от оси вращения правее грузов, чтобы удерживать рычаг в равновесии.

3. Запишите результаты измерений и вычислений в таблицу, которую составьте самостоятельно по аналогии с таблицей 19, и сделайте соответствующий вывод для этого случая.

№ 12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Цель работы Определить коэффициент полезного действия (КПД) наклонной плоскости. Проверить гипотезу: «КПД простого механизма меньше 100% (на примере наклонной плоскости)».

Приборы и материалы Деревянная доска, динамометр, измерительная лента или линейка, брусок, штатив с муфтой и лапкой, нить.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Определите с помощью динамометра вес P бруска.
2. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы прибора, и вычислений без учёта погрешности записывайте в таблицу 20.

Таблица 20

$P \pm \Delta P$, Н	$h \pm \Delta h$, м	$A_п$, Дж	$F \pm \Delta F$, Н	$l \pm \Delta l$, м	$A_з$, Дж	η, %

3. Соберите установку по рисунку 200.

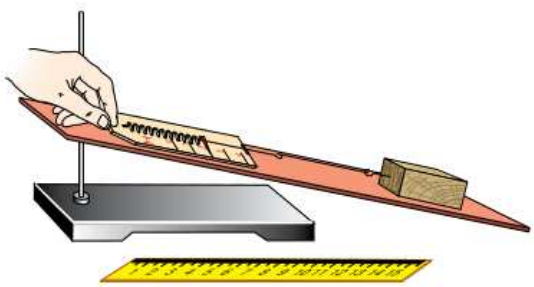


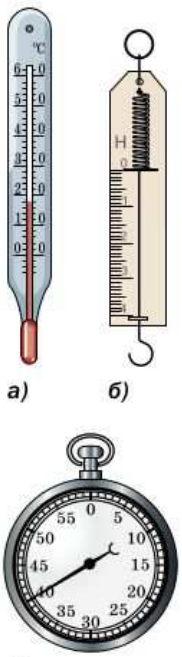
Рис. 200

4. Измерьте высоту h и длину l наклонной плоскости.
5. Вычислите полезную работу по формуле: $A_п = Ph$.
6. Перемещайте брусок с постоянной скоростью вверх по наклонной плоскости, прикладывая силу вдоль доски.
7. В процессе движения бруска измерьте силу тяги F.
8. Вычислите затраченную работу (работа при подъёме бруска на высоту h по наклонной плоскости) по формуле: $A_з = Fl$.
9. Определите КПД наклонной плоскости: $\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%$.
10. Проанализируйте результаты и сделайте вывод.

Задачи для повторения



ФИЗИКА И ЕЁ РОЛЬ В ПОЗНАНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА



а) *б)* *в)*

Рис. 201

1. Из приведённых слов выберите те, которые указывают на физическое тело: дом, железо, метр, термометр.
2. Из приведённых слов выберите те, которые указывают на вещество: озеро, вода, стакан, стекло.
3. Определите пределы измерения и цену деления шкалы каждого измерительного прибора (рис. 201).
4. Измерьте длину, ширину и толщину вашего учебника физики. Какова абсолютная погрешность измерений этих физических величин?
5. Опишите модель Солнечной системы.
6. Вспомните из курса географии, моделью чего является глобус. Опишите эту модель.
7. Какие физические модели вы знаете?
8. Чтобы определить диаметр проволоки, ученик намотал вплотную на карандаш 30 витков, которые заняли часть карандаша длиной 3 см. Чему равен диаметр проволоки?

ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

9. Газы легко сжимаются. Можно ли газ сжать до сколь угодно малого объёма?
10. Одинаковы ли молекулы воды в горячем чае и газированной воде? Что можно сказать о расстояниях между молекулами в этих напитках?

11. Вода превратилась в пар. Изменились ли при этом её молекулы? Изменилось ли расстояние между молекулами?

12. Вокруг гвоздя, забитого в доску, появляется красноватый налёт. Объясните явление.

13. Почему не рекомендуется мокрую ткань, окрашенную в тёмный цвет, оставлять на длительное время в соприкосновении с белой тканью?

14. Почему в горячей воде сахар растворяется быстрее, чем в холодной?

15. Какие опыты указывают на то, что между молекулами существует взаимное притяжение?

16. Люди научились обрабатывать бронзу раньше, чем железо. Попробуйте объяснить, почему так произошло.

17. Водяной пар и вода находятся при температуре 100 °С. Что можно сказать о расстояниях между молекулами? Что можно сказать о взаимодействии молекул?

18. Может ли медь быть жидкой, а ртуть твёрдой? Ответ поясните.

19. Почему объём газов при сжатии изменяется значительно больше, чем объём жидкостей и твёрдых тел (при одинаковых условиях)?

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

20. Пассажир едет в электричке. Относительно каких тел он находится: в покое; в движении?

21. Как определить, какая из двух противоположно стоящих электричек начала движение?

22. Последняя ступень второй советской космической ракеты имела скорость 11,2 $\frac{\text{км}}{\text{с}}$. Выразите эту скорость в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

23. Гиря часов опустилась за сутки на 120 см. Вычислите скорость движения гири в $\frac{\text{см}}{\text{ч}}$.

24. Какова скорость велосипедиста, если за 10 мин он проезжает 1,2 км?

25. Первая в мире советская космическая ракета преодолела расстояние 370 тыс. км от Земли до Луны за 34 ч. Определите среднюю скорость движения ракеты на этом пути.

26. За 5 ч 30 мин велосипедист проехал путь 100 км. С какой средней скоростью $\left(\text{в } \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$ двигался велосипедист?

27. Бегун пробежал стометровку 5 раз. Какой путь он пробежал?

28. За 1 с Земля относительно Солнца проходит путь 30 км. Какой приблизительно путь проделываете вы вместе с Землёй за 20 с?

29. Огибая остров, корабль проплыл 5 морских миль на север, 10 миль на северо-восток и 8 миль на восток. Найдите путь корабля (1 морская миля = 1852 м).

30. В течение 16 мин поезд двигался равномерно со скоростью 20 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Какое расстояние прошёл поезд?

31. Сколько времени займёт перелёт из Москвы в Минск, если расстояние между городами 600 км, а самолёт летит со скоростью 80 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$?

32. Может ли спортсмен, пробегающий 100 м за 10 с, обогнать велосипедиста, едущего со скоростью 18 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

33. Трактор за первые 5 мин проехал 600 м. Какой путь проедет трактор за 0,5 ч, двигаясь с той же скоростью?

34. По графику зависимости пути от времени $s(t)$ (рис. 202) определите, какой путь пройдёт тело за 4 ч.

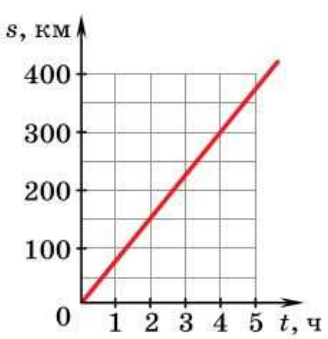


Рис. 202

35. С помощью графика (см. рис. 202) определите скорость тела $\left(\text{в } \frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$ в промежутке времени от 0 до 2 ч и от 3 до 5 ч. Сравните полученные значения. Сделайте вывод.

36. Постройте график зависимости пути от времени $s(t)$ по данным таблицы. Определите скорость движения тела.

t, с	0	1	2	3	4
s, м	0	72	144	216	288

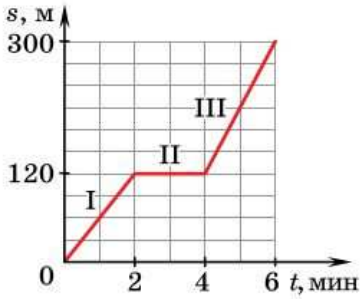


Рис. 203

37. Датчик движения показал следующий график движения пешехода (рис. 203). Охарактеризуйте движение на каждом участке. Опишите ситуацию, в которой пешеход мог так двигаться.

38. Постройте графики зависимости пути от времени для двух тел, если тело I движется с постоянной скоростью 7 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, а тело II — 3 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Каков путь тела I за 2 с; тела II за 4 с?

39. Уравнение $s = vt$ описывает движение тела.

1) Определите характер движения тела.

2) Определите путь тела за 5 с, если оно движется со скоростью 10 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

3) Постройте график зависимости скорости от времени.

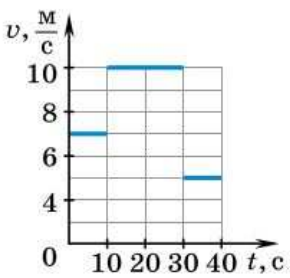


Рис. 204

40. Какой путь прошло бы тело за 40 с, если бы его скорость с течением времени изменялась так, как показано на графике (рис. 204)? Почему скорость реального тела так изменяться не может?

41. Тело начало движение из состояния покоя. Через 5 с его скорость достигла 10 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите ускорение движения тела.

42. Начальная скорость тела 20 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через 10 с она стала равна 5 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите ускорение тела.

43. Начальная скорость тела 4 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Оно движется в течение 10 с с ускорением 1,5 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Определите скорость тела к концу данного промежутка времени.

44. Самолёт начинает движение на взлётной полосе с ускорением 3 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Чему равна скорость самолёта через 10 с?

45. Сравните движение двух тел, используя графики (рис. 205). Определите ускорения этих тел.

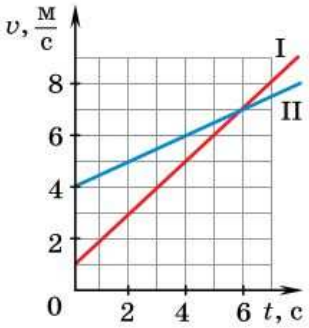


Рис. 205

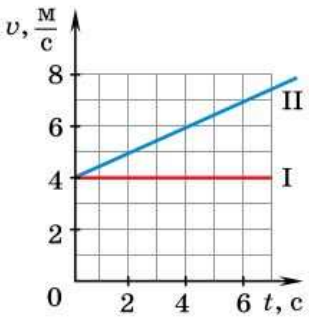


Рис. 206

46. Даны графики зависимости скорости от времени для двух тел (рис. 206).

1) Какое движение описывает каждый график?
2) Какова начальная скорость тела I; тела II?
3) Какова скорость каждого тела через 6 с?
4) Каково ускорение тела I; тела II?

47. Постройте графики зависимости скорости от времени для трёх тел: $\upsilon_{01} = 0$, $a_1 = 2\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $\upsilon_{02} = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $a_2 = 1\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $\upsilon_{03} = 8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $a_3 = 0$.

1) Какое движение описывают графики I, II, III?
2) Какова скорость: тела I через 2 с; тела II через 3 с; тела III через 4 с?

48. Тело движется с ускорением $1\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Начальная скорость тела $2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Постройте графики зависимости $a(t)$ и $\upsilon(t)$.

49. При езде на велосипеде без заднего крыла грязь с колеса попадает на спину велосипедиста. Как получается, что комочки грязи могут догнать велосипедиста?

50. Почему при прополке сорняки нельзя выдёргивать из земли рывком; брать за верхушки?

51. Приведите примеры, показывающие, что действие силы зависит от её модуля, точки приложения и направления.

52. Почему при выстреле снаряд и орудие двигаются в разные стороны и получают разные скорости?

53. Известно, что на Луне на тело массой 1 кг действует сила тяжести, равная 1,62 Н. Вычислите, чему будет равен на Луне вес человека, масса которого 75 кг.

54. Имеются две одинаковые банки: одна с водой, другая с растительным маслом. Банки с жидкостями уравновесили на рычажных весах. У какой жидкости уровень выше — у воды или у масла?

55. Какая жидкость налита в сосуд ёмкостью 100 л, если её масса 93 кг?

56. Найдите массу бетонной плиты размером $6 \times 3 \times 0{,}25$ м.

57. Найдите объём айсберга массой 240 т.

58. В каком агрегатном состоянии — жидком или твёрдом — расстояния между молекулами воды больше и почему?

59. Для промывки медной детали массой 17,8 кг её опустили в бак с керосином. Определите массу керосина, вытесненного этой деталью.

60. На сколько изменилась масса топливного бака с бензином, когда в него долили бензин, объём которого 200 л?

61. Чугунный шар имеет массу 800 г при объёме 135 $см^3$. Сплошной или полый этот шар?

62. Два одинаковых ящика наполнили дробью: один — крупной, другой — мелкой. Масса какого ящика больше? Ответ поясните.

63. В пустой измерительный цилиндр массой 240 г налили жидкость объёмом 75 $см^3$. Масса цилиндра с жидкостью 300 г. Какую жидкость налили в него?

64. Чему равна сила тяжести, действующая на деревянную пробку объёмом 100 $см^3$? Плотность пробки равна $0{,}2 \frac{г}{см^3}$.

65. Определите массу стула, на который действует сила тяжести 30 Н.

66. Какая сила тяжести действует на медный брусок размером $10 \times 8 \times 5$ см? Принять $g = 10 \frac{м}{с^2}$.

67. Рассчитайте силу тяжести, действующую на космонавта на Луне, масса которого вместе со скафандром равна 85 кг. Ускорение свободного падения на Луне $1{,}6 \frac{м}{с^2}$.

68. Определите вес алюминиевого цилиндра объёмом 200 $см^3$, подвешенного на прочной нити. Принять $g = 10 \frac{м}{с^2}$.

69. Канат удерживает предельную нагрузку 3 кН. Разорвётся ли канат, если на нём подвесить груз массой 0,6 т?

70. Мальчик массой 45 кг взял в руки портфель массой 2,5 кг. С какой силой он стал давить на пол?

71. Масса воды в ведре уменьшилась в 2 раза. Изменился ли её вес? Если изменился, то как?

72. Определите жёсткость пружины, если под действием силы 4 Н она растянулась на 8 см.

73. При открывании двери длина дверной пружины увеличилась на 12 см. Сила упругости составила при этом 4 Н. При каком удлинении пружины сила упругости будет равна 10 Н?

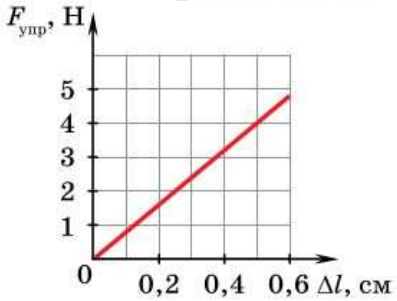


Рис. 207

74. По графику зависимости силы упругости, действующей на пружину, от её удлинения (рис. 207) определите жёсткость пружины.

75. Всегда ли выполняется закон Гука? Когда этот закон не выполняется?

76. Почему мел оставляет след на классной доске?

77. Почему трудно удержать в руке пойманную рыбу?

78. Всегда ли трение скольжения больше трения качения? Приведите примеры.

79. На тело действуют две силы 12 и 16 Н, направленные по одной прямой вправо. Чему равна равнодействующая этих сил и куда она направлена?

80. На тело действуют две силы 8 и 5 Н, направленные по одной прямой в противоположные стороны. Чему равна равнодействующая этих сил и в сторону какой силы — большей или меньшей — она направлена?

81. Три силы направлены по одной прямой: влево 16 и 2 Н, вправо 18 Н. Определите равнодействующую этих сил и её направление.

82. Сила тяги стартующей вертикально вверх ракеты равна 400 кН, а сила тяжести, действующая на ракету, — 100 кН. Определите равнодействующую этих сил.

ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

83. Масса двухосного прицепа с грузом равна 2,5 т. Определите давление, оказываемое прицепом на дорогу, если площадь соприкосновения каждого колеса с дорогой равна 125 $см^2$.

84. Токарный станок массой 300 кг опирается на фундамент четырьмя ножками. Определите давление станка на фундамент, если площадь каждой ножки 50 см^2.

85. Для испытания бетона на прочность из него изготовляют кубики размером 10 × 10 × 10 см. При сжатии под прессом кубики начали разрушаться при действии на них силы 480 кН. Определите минимальное давление, при котором этот бетон начинает разрушаться.

86. Лёд выдерживает давление 90 кПа. Пройдёт ли по этому льду трактор, если его вес 30 кН и он опирается на гусеницы общей площадью 1,5 м^2?

87. Из бутылки трудно пить, когда её горлышко плотно охвачено губами. Почему?

88. Почему при накачивании воздуха в шину велосипеда с каждым разом всё труднее двигать ручку насоса?

89. Под колоколом воздушного насоса находится сосуд, закупоренный пробкой. Почему при выкачивании воздуха из-под колокола пробка может вылететь?

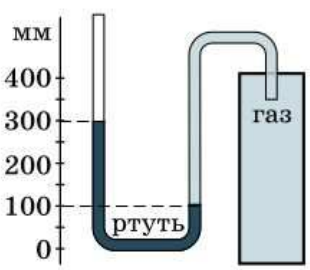


Рис. 208

90. Одно из колен манометра соединили с сосудом, заполненным газом (рис. 208). Чему равно давление газа в сосуде, если атмосферное давление составляет 766 мм рт. ст.?

91. Чтобы увеличить напор, под которым нефть поступает из скважины на поверхность земли, в глубину по трубам насоса подаётся вода, которая давит на нефть и заставляет её непрерывно подниматься. Какой физический закон используется при этом?

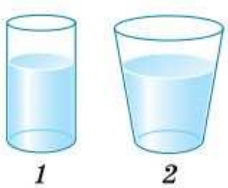


Рис. 209

92. Сосуды *1* и *2* заполнены водой (рис. 209). Высота столба жидкости 10 см, площадь дна сосудов 1 см^2. Определите давление и силу давления на дно каждого сосуда.

93. На сколько давление воды на глубине 10 м больше, чем на глубине 1 м?

94. При выстреле из мелкокалиберной винтовки в варёное яйцо в нём образуется отверстие. Если выстрелить в сырое яйцо, то оно разлетится. Объясните это явление.

95. Площадь малого поршня гидравлического пресса 10 см^2, на него действует сила 100 Н. Площадь большого поршня 200 см^2. Какая сила действует на большой поршень?

96. Малый поршень гидравлического пресса площадью 2 см^2 под действием силы опустился на 16 см. Площадь большого поршня 8 см^2. Определите: а) вес груза, поднятого поршнем, если на малый поршень действовала сила 200 Н; б) на какую высоту поднялся груз.

97. Жидкость давит на тело, погружённое в неё, сверху, снизу и с боков. Почему же выталкивающая сила всегда направлена вертикально вверх?

98. Когда молоко подливают в кофе, то оно опускается на дно чашки. Почему?

99. Пробирку полностью поместили в измерительный цилиндр с водой. Уровень воды в нём при этом повысился от деления 100 до 200 мл. Сколько весит пробирка, плавающая в воде?

100. Шарик массой 250 г плавает на поверхности воды. Определите объём части шарика, находящейся под водой.

РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

101. Ученик держит в руках портфель. Совершается ли при этом механическая работа?

102. С некоторой высоты на стол падает мячик и отскакивает вверх. Определите знак работы, совершаемой силой тяжести на участке падения и на участке подъёма мячика.

103. В каком случае совершается бóльшая работа: при действии силы 6 Н на пути 3 м или при действии силы 20 Н на пути 1 м? Направление силы в обоих случаях совпадает с направлением движения тела.

104. Какую работу совершает кран при равномерном подъёме груза массой 5 т на высоту 8 м?

105. Давление воды в цилиндре нагнетательного насоса 1200 кПа. Чему равна работа при перемещении поршня площадью 400 см^2 на расстояние 50 см?

106. Два брата перекладывают по 5 книг из портфеля, стоящего на полу, на стол: первый за 20 с, второй за 30 с.

Сравните механическую работу, совершаемую братьями, если массы учебников одинаковы. Одинаковые ли мощности при этом они развивают?

107. Экскаватор за 1 ч поднимает 120 т песка на высоту 10 м. Какую мощность он при этом развивает?

108. Какую работу совершает двигатель мясорубки мощностью 800 Вт в течение 20 мин?

109. Какую работу совершит гиря от часов массой 0,5 кг при опускании с высоты 2 м до высоты 1 м? Какова мощность (в МВт) гири, если опускание произошло за 24 ч?

110. К разным концам рычага подвешены грузы весом 40 и 230 Н. Расстояние от точки опоры до точки приложения меньшей силы 60 см. Определите длину рычага, если он находится в равновесии.

111. Рабочий поднимает груз на высоту 15 м при помощи подвижного блока, прикладывая к верёвке силу 0,2 кН. Определите работу, которую совершает рабочий.

112. Высота наклонной плоскости 1,5 м, а длина 12 м. Груз массой 150 кг равномерно перемещают по этой плоскости, прикладывая силу 250 Н. Определите КПД наклонной плоскости.

113. Каким видом энергии обладают: а) сани, скатывающиеся с ледяной горы; б) пружина заведённых механических часов; в) шайба, скользящая по льду; г) шайба, летящая по воздуху?

114. Чему равна кинетическая энергия тела массой 0,4 кг, движущегося со скоростью 3 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$?

115. Как и во сколько раз изменится кинетическая энергия тела, если его скорость уменьшится в 3 раза?

116. Определите потенциальную энергию, которой обладает самолёт массой 40 т, находящийся на высоте 8 км.

117. Тело массой 1 кг падает с высоты 10 м. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна 80 Дж? Сопротивлением воздуха пренебречь.

118. Какие превращения энергии происходят при прыжках ребёнка на батуте?

ОТВЕТЫ

К упражнениям

Упр. 2. **1.** 10^{-10} м. **4.** 856164,4 года.

Упр. 7. **6.** 6 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **7.** 67 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **8*.** 54,5 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Упр. 8. **1.** 42 см. **2.** 20 лет. **4.** 250 км; 125 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **5.** 9 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$; 27 м, 63 м. **6.** 5 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$; 2 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **7*.** 2,22 ч; 18 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **8*.** $v = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}$.

Упр. 9. **1.** 3 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **2.** 2 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **3.** 2 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **4.** 20 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **5.** I — равноускоренное движение, $a_{\text{I}} = 2$ $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. II — равномерное движение, $a_{\text{II}} = 0$. **6.** 2,5 с.

Упр. 11. **3.** 0,96 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. **4.** 1,4 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Упр. 12. **4.** 2,9. **5.** 15,9. **6.** 7,3 $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, 7300 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, олово. **7.** 0,7 $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, дуб. **8*.** Уровень керосина выше. **9*.** Плотность ртути уменьшилась, объём ртути увеличился, масса ртути не изменилась.

Упр. 13. **1.** $m_{\text{вода}} = 0{,}5$ кг, $m_{\text{бензин}} = 0{,}355$ кг, $m_{\text{м. масло}} = 0{,}45$ кг. **2.** 0,3. **3.** 45 л. **4.** 15 кг. **5.** 2,5 м^3. **6.** $m_{\text{дер}} = \frac{\rho_{\text{дер}}}{\rho_{\text{медь}}} M$.

Упр. 15. **5*.** 0,05 Н.

Упр. 16. **7.** $\Delta l = \frac{mg}{k}$.

Упр. 18. **1.** а) 0,1 Н; 1,5 Н; б) 0,5 Н; 5 Н.

Упр. 19. **1.** 500 Н. **2.** 500 Н. **3.** 900 Н.

Упр. 20. **1.** 1200 Па; 3000 Па; 50 Па; 60 000 Па; 250 гПа; 25 кПа; 7 гПа; 0,7 кПа. **2.** 18,75 кПа; в 10,7 раза меньше. **3.** 300 Па. **4.** $3{,}24 \cdot 10^5$ Па; в 17,7 раза больше.

Упр. 22. **1.** $1{,}8 \cdot 10^3$ Па. **2.** На 90 кПа. **3.** $1{,}12 \cdot 10^4$ Па. **4*.** $p_1 = 10^4$ Па; $p_2 = 1{,}5 \cdot 10^4$ Па; $p_3 = p_4 = 2 \cdot 10^4$ Па. **5.** 370 Па.

Упр. 23. **6*.** В первом на 3400 Па; 0,16 м.

Упр. 24. **2.** 39 Н.

Упр. 25. **1.** 10,3 м. **2.** 30 Н. **3.** 1,33 гПа; 937,09 гПа; 1026,41 гПа. **4*.** 1016 гПа.

Упр. 26. **4.** 402 м. **5.** Уменьшилось на 25,4 кПа. **6.** $6{,}1 \cdot 10^4$ Н.

Упр. 27. **1.** 12,5 м; 0,76 м. **2.** 7,9 м.

Упр. 28. **1.** 25. **2.** $4 \cdot 10^3$ Н. **3.** 20 кг. **4*.** 1500 Н.

Упр. 30. **2.** 100 Н. **3.** 8000 Н. **7.** 7200 Н; 9000 Н. **8*.** 90%.

Упр. 31. **2.** $5 \cdot 10^3$ м^3. **3*.** Нет. **6.** 10 кН. **7.** 21,4 м^3.

Упр. 32. **1.** 100 Дж. **2.** –12 Дж; 12 Дж. **3.** 6,5 м. **4.** $4{,}6 \cdot 10^6$ Дж.

Упр. 33. **1.** 0,02 Вт; $1{,}07 \cdot 10^5$ Вт; $5 \cdot 10^6$ Вт. **2.** $5 \cdot 10^4$ Дж; $3{,}33 \cdot 10^3$ Вт. **3.** $1{,}2 \cdot 10^3$ Вт. **5*.** $4 \cdot 10^4$ Вт. **6*.** $3{,}6 \cdot 10^3$ т.

Упр. 34. **1.** 0,09 м. **2.** На расстоянии 0,15 м от точки приложения большей силы.

Упр. 35. **1.** $M_1 = 2$ Н·м; $M_2 = 2{,}25$ Н·м; нет. **2*.** 0. **3.** Да. **6*.** Нет.

Упр. 36. **2.** 1,5 м. **3.** 7,2 Н; 6; 0. **4*.** В 2 раза.

Упр. 37. **1.** 80%. **2.** 66,7%. **3.** 120 кг.

Упр. 38. **1.** $E_{к2} = 2E_{к1}$. **2.** $E_{к1} = 4E_{к2}$. **3.** 100 Дж. **4*.** 8 $\frac{м}{с}$; увеличится в 4 раза. **5.** 50 Дж. **6.** $E_{п1} = E_{п2}$. **7.** На 600 Дж.

Упр. 39. **2.** 20 Дж.

К задачам для повторения

8. 1 мм. **23.** 5 $\frac{см}{ч}$. **25.** 3022,8 $\frac{м}{с}$. **26.** 5 $\frac{м}{с}$. **27.** 500 м. **28.** 600 000 м. **29.** 42 596 м. **30.** 19 200 м. **31.** 125 мин. **32.** $v_{сп} = 10$ $\frac{м}{с}$; $v_{вел} = 5$ $\frac{м}{с}$. **33.** 3600 м. **34.** 300 км. **36.** 72 $\frac{м}{с}$. **38.** 14 м; 12 м. **39.** 2) 50 м. **40.** 320 м; для изменения скорости требуется время, она не может изменяться скачком. **41.** 2 $\frac{м}{с^2}$. **42.** –1,5 $\frac{м}{с^2}$. **43.** 19 $\frac{м}{с}$. **44.** 30 $\frac{м}{с}$. **45.** $a_I = 1$ $\frac{м}{с^2}$; $a_{II} = 0{,}5$ $\frac{м}{с^2}$. **47.** 2) 4 $\frac{м}{с}$; 7 $\frac{м}{с}$; 8 $\frac{м}{с}$. **53.** 121,5 Н. **55.** 930 $\frac{кг}{м^3}$; масло. **56.** 10 350 кг. **57.** 266,67 м^3. **59.** 1,6 кг. **60.** 142 кг. **61.** Шар полый. **62.** С мелкой дробью. **63.** 800 $\frac{кг}{м^3}$; спирт или керосин. **64.** 0,2 Н. **65.** 3 кг. **66.** 35,6 Н. **67.** 136 Н. **68.** 5,4 Н. **69.** 6 кН; канат разорвётся. **70.** 475 Н. **71.** Уменьшился в 2 раза. **72.** 50 $\frac{Н}{м}$. **73.** 30 см. **74.** 800 $\frac{Н}{м}$. **79.** 28 Н; вправо. **80.** 3 Н; в сторону большей. **81.** 0. **82.** 300 кН. **83.** $5 \cdot 10^5$ Па. **84.** $1{,}5 \cdot 10^5$ Па. **85.** $4{,}8 \cdot 10^7$ Па. **86.** Пройдёт. **90.** 966 мм рт. ст. **92.** 10^3 Па; 0,1 Н. **93.** $9 \cdot 10^4$ Па. **95.** $2 \cdot 10^3$ Н. **96.** а) 800 Н; б) 4 см. **99.** 1 Н. **100.** $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^3. **103.** Во втором случае совершится бóльшая работа. **104.** $4 \cdot 10^5$ Дж. **105.** 24 кДж. **107.** $3{,}33 \cdot 10^3$ Вт. **108.** $9{,}6 \cdot 10^5$ Дж. **109.** 5 Дж; 58 МВт. **110.** 0,7 м. **111.** 6 кДж. **112.** 75%. **114.** 1,8 Дж. **115.** Уменьшится в 9 раз. **116.** $3{,}2 \cdot 10^9$ Дж. **117.** 2 м.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абсолютная погрешность измерений 16
Агрегатное состояние вещества 38
Ареометр 172
Архимед 159
Архимедова сила 160
Атмосфера 137
Атмосферное давление 137
Атом 25
Аэростат 169

Б

Барометр-анероид 145
Блок 190
Броун Р. 30
Броуновское движение 31

В

Ватерлиния 168
Ватт (единица мощности) 179
Вес тела 94
Вещество 6
Взаимодействие тел 67
Водоизмещение судна 168
Время движения 57
Всемирное тяготение 88
Выталкивающая сила 157

Г

Гагарин Ю. А. 23
Газ 39
Галилей Г. 8
Гидравлический пресс 152
Гидростатический парадокс 132
Гипотеза 7
Гук Р. 91

Д

Давление 115
— газа 120
— жидкости 128
Деформация 85
Джоуль (единица работы) 175
Динамометр 102
Диффузия 33

Ж

Жёсткость 91
Жидкость 39

З

Закон Архимеда 159
— Гука 91
— Паскаля 124
— сохранения механической энергии 203
Затраченная работа 194
«Золотое правило» механики 193

И

Измерение 10
Инерция 65

К

Кинетическая энергия 197
Королёв С. П. 22
Коэффициент полезного действия 195

Л

Ломоносов М. В. 3

М

Максвелл Дж. 21
Манометр 148
Масса тела 70
Материя 6
Механическая работа 174
Механическое движение 44
Модель 9
Молекула 27
Момент силы 187
Мощность 179

Н

Наблюдение 7
Неподвижный блок 191
Неравномерное движение 48
Ньютон (единица силы) 86
Ньютон И. 21

О

Опыт 7
— Торричелли 140
Относительность движения 44

П

Паскаль (единица давления) 117
Паскаль Б. 123
Плавание тел 163
Плечо силы 185
Плотность 75
Подвижный блок 191
Подшипник 112
Полезная работа 194
Полная работа 194
Поршневой жидкостный насос 150
Потенциальная энергия 199
Правило моментов 188
— равновесия рычага 186
Прямолинейное равноускоренное движение 60
Путь 46

Р

Равнодействующая сил 104
Равномерное движение 47
Ртутный барометр 141
Рычаг 185

С

Сила 84
— трения 107
— — качения 108
— — покоя 110
— — скольжения 108
— тяжести 87
— упругости 89
Скорость 49
Средняя скорость 52
Стратостат 169

Т

Твёрдое тело 38
Теория 9
Торричелли Э. 140
Траектория 45

У

Ускорение 61
— свободного падения 93

Ф

Физическая величина 10
Физическое тело 5
— явление 4

Ц

Цена деления шкалы 13
Циолковский К. Э. 100

Э

Эксперимент 7
Энергия 196

Я

Явление 3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ФИЗИКА И ЕЁ РОЛЬ В ПОЗНАНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

§ 1. Что изучает физика ... 3
§ 2. Некоторые физические термины ... 5
§ 3. Научные методы изучения природы ... 7
§ 4. Физические величины. Измерение физических величин ... 10
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Старинные меры ... 15
§ 5. Точность и погрешность измерений ... 16
§ 6. Физика и её влияние на развитие техники ... 19

ИТОГИ ГЛАВЫ ... 24

ГЛАВА 1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

§ 7. Строение вещества ... 25
§ 8. Молекулы ... 27
§ 9. Броуновское движение ... 30
§ 10. Диффузия в газах, жидкостях и твёрдых телах ... 32
§ 11. Взаимное притяжение и отталкивание молекул ... 34
§ 12. Агрегатные состояния вещества ... 37
§ 13. Различие в молекулярном строении твёрдых тел, жидкостей и газов ... 40

ИТОГИ ГЛАВЫ ... 42

ГЛАВА 2 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

§ 14. Механическое движение ... 44
§ 15. Равномерное и неравномерное движение ... 47
§ 16. Скорость. Единицы скорости ... 48
§ 17. Расчёт пути и времени движения ... 55
§ 18. Прямолинейное равноускоренное движение. Ускорение ... 60
§ 19. Инерция ... 64
§ 20. Взаимодействие тел ... 66
§ 21. Масса тела. Единицы массы ... 69
§ 22. Измерение массы тела на весах ... 72
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Эталон килограмма ... 74
§ 23. Плотность вещества ... 75
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Космические плотности ... 80

§ 24. Расчёт массы и объёма тела по его плотности 81
§ 25. Сила 83
§ 26. Явление тяготения. Сила тяжести 86
§ 27. Сила упругости. Закон Гука 89
§ 28. Связь между силой тяжести и массой тела. Вес тела 93
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Невесомость 96
§ 29. Сила тяжести на других планетах. Физические характеристики планет 98
§ 30. Динамометр 101
§ 31. Сложение двух сил, направленных по одной прямой. Равнодействующая сил 104
§ 32. Сила трения 106
§ 33. Трение покоя 109
§ 34. Трение в природе и технике 111
ИТОГИ ГЛАВЫ 113

ГЛАВА 3 ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

§ 35. Давление. Единицы давления 115
§ 36. Давление газа 120
§ 37. Передача давления жидкостями и газами. Закон Паскаля 123
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Пневматические машины и инструменты 125
§ 38. Давление в жидкости и газе, вызванное действием силы тяжести 127
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Давление на дне морей и океанов. Исследование морских глубин 129
§ 39. Расчёт давления жидкости на дно и стенки сосуда 130
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Гидростатический парадокс 132
§ 40. Сообщающиеся сосуды 133
§ 41. Вес воздуха. Атмосферное давление 137
§ 42. Измерение атмосферного давления. Опыт Торричелли 140
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
История открытия атмосферного давления 143
§ 43. Барометр-анероид. Атмосферное давление на различных высотах 145
§ 44. Манометры. Поршневой жидкостный насос 148
§ 45. Гидравлический пресс 151
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Пресс-гигант 154
Гидравлический тормоз автомобиля 155
§ 46. Действие жидкости и газа на погружённое в них тело 155
§ 47. Архимедова сила 158
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Легенда об Архимеде 162

§ 48. Плавание тел 162
§ 49. Плавание судов. Воздухоплавание 167

ИТОГИ ГЛАВЫ 172

ГЛАВА 4 РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

§ 50. Механическая работа. Единицы работы 174
ЭТО ЛЮБОПЫТНО...
Работа в организме человека 177
§ 51. Мощность. Единицы мощности 178
§ 52. Простые механизмы 182
§ 53. Рычаг. Равновесие сил на рычаге 183
§ 54. Момент силы 187
§ 55. Рычаги в технике, быту и природе 189
§ 56. Применение правила равновесия рычага к блоку 190
§ 57. Равенство работ при использовании простых механизмов. «Золотое правило» механики 192
§ 58. Коэффициент полезного действия механизма 194
§ 59. Механическая энергия 196
§ 60. Превращение механической энергии одного вида в другой 202

ИТОГИ ГЛАВЫ 205

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№ 1. Определение показаний измерительного прибора 207
№ 2. Определение размеров малых тел 208
№ 3. Измерение массы тела 210
№ 4. Измерение объёма твёрдого тела 211
№ 5. Определение плотности твёрдого тела 213
№ 6. Исследование силы упругости 214
№ 7. Градуирование пружины и измерение сил динамометром 215
№ 8. Исследование зависимости силы трения скольжения от площади соприкосновения тел, прижимающей силы, рода поверхности 216
№ 9. Изучение выталкивающей силы, действующей на погружённое в жидкость тело 217
№ 10. Выяснение условий плавания тела в жидкости 219
№ 11. Выяснение условия равновесия рычага 220
№ 12. Определение КПД наклонной плоскости 221

ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ 223

ОТВЕТЫ 233

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 235