



И. М. Перышкин, А. И. Иванов

ФИЗИКА



7

И. М. Перышкин, А. И. Иванов

ФИЗИКА



УЧЕБНИК

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

2-е издание, стереотипное

Москва
«Просвещение»
2022



УДК 373.167.1:53+53(075.3)
ББК 22.3я721
П27

Учебник допущен к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования организациями, осуществляющими образовательную деятельность, в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 766 от 23.12.2020.

Эксперты, осуществлявшие экспертизу учебника:
Репина И. В., Цыганкова П. В., Васильева И. В., Жиганова А. В.

Издание выходит в pdf-формате.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Ответ на вопросы  ; *обсуди с товарищами*  ;

реши задачи из  **УПРАЖНЕНИЯ** ;

примени полученные знания  **ЗАДАНИЕ** :



— экспериментальное,



— исследовательское,



— проектное,



— графическое;

расширь свой кругозор **Это любопытно...** ;

научись пользоваться приборами

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Перышкин, И. М.

П27 Физика : 7-й класс : учебник : издание в pdf-формате / И. М. Перышкин, А. И. Иванов. — 2-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 239, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-09-101322-1 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-094445-8 (печ. изд.).

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования.

Большое количество красочных иллюстраций, разнообразные вопросы и задания, а также дополнительные сведения и любопытные факты способствуют эффективному усвоению учебного материала.

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

ISBN 978-5-09-101322-1 (электр. изд.)
ISBN 978-5-09-094445-8 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2021
© Художественное оформление.
АО «Издательство «Просвещение», 2021
Все права защищены

§ 1

ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА

МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ
ЛОМОНОСОВ

(1711—1765)

Выдающийся русский учёный. Внёс огромный вклад в развитие науки, культуры и образования в России

Человечество хранит в своей памяти имена великих писателей, художников, музыкантов, архитекторов, 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. *φύσις* — 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» и первая физическая терминология были введены **Михаилом Васильевичем Ломоносовым** в XVIII в.

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, нагревается утюг — это лишь некоторые примеры явлений. Посмотрите вокруг, и вы сможете привести ещё много других примеров.

Различают *биологические, физические, химические явления*.



Рис. 1. Смена дня и ночи

Изменения, которые происходят с телами живой природы, т. е. организмами, называют *биологическими явлениями*.

Горение свечи, образование из молока простокваши, возникновение ржавчины на железной детали — это примеры *химических явлений*.

Физические явления очень разнообразны. Различают *механические, тепловые, световые, электрические, магнитные* и другие явления. Например, движение велосипедиста — это пример механического явления, замерзание воды — теплового, радуга — светового, притяжение магнитом железных предметов — пример магнитного явления. Физические явления подчиняются определённым правилам, закономерностям, которые называют **законами физики**.

Законы физики лежат в основе таких наук о природе, как биология, химия, география, астрономия, геология и др. Например, устройство и принцип действия микроскопа, с которым вы работаете на уроках биологии, основаны на законах физики. В географии законы физики используют для объяснения, например, извилистого русла рек, схода ледников, образования ветров.

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 всё время смотрит на север?

Задача физики заключается в том, чтобы находить объяснения физическим явлениям, вы-



Примеры химических и биологических явлений

являть их общие свойства, связи между ними, 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.



ЗАДАНИЕ

- Какие из перечисленных явлений следует отнести к физическим: а) расчёска, которой расчесали волосы, притянула к себе мелкие кусочки бумаги; б) весной появилась листва на деревьях; в) солнечный луч отразился от зеркала, и на стене появился солнечный зайчик; г) белая бумага на солнце пожелтела; д) кусок мела упал и раскрошился; е) в кружке, которую забыли помыть, выросла плесень?
- Начертите в тетради таблицу. Распределите перечисленные явления по соответствующим столбцам: шар катится, свинец плавится, холодает, слышны раскаты грома, снег тает, звёзды мерцают, вода кипит, звучит эхо, плывёт бревно, облака движутся, гремит гром, летит голубь, сверкает молния, шелестит листва, горит лампа.

| Механические | Звуковые | Тепловые | Световые |
|--------------|----------|----------|----------|
| | | | |

§ 2

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ

Вы, наверное, уже знаете, что каждая наука имеет свой язык. Специальные слова, обозначающие физические понятия, называют *терминами*.

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 предмет (рис. 2) называют **физическим телом** или просто **телом**.

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



Рис. 2. Физические тела



Рис. 3. Тела разной формы, но одинакового объёма



Рис. 4. Тела одинаковой формы, но разного объёма

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

А могут быть тела одинаковой формы и 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 определить 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.

Материальными являются планеты, деревья, здания, звук, солнечный свет, радиоволны и др., и существование всего этого можно обнаружить экспериментально.

Весь окружающий мир представляет собой материю в её разнообразных формах. Она включает 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?



Подумайте, на какие три группы можно разделить приведённые ниже слова.

Свинец, гром, рельсы, снегопад, медь, закат, метель, Марс, спирт, нож, стол, самолёт, нефть, кипение, метель, образование сосульки, выстрел, наводнение.



ЗАДАНИЕ

1. Выберите из текста 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. Сделайте небольшое сообщение, подтверждающее мысль о том, что материя не ограничена нашими знаниями о ней, на примере открытия планеты Нептун, экзопланет или других объектов.

§ 3

НАБЛЮДЕНИЯ И ОПЫТЫ



Наблюдение
звёздного неба

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

Цель любой науки — описание, объяснение наблюдаемых явлений, установление законов природы, которые могут объяснить известные и предсказать новые явления. Так, физики сначала объяснили причину наблюдаемых электромагнитных явлений, открыв законы, по которым они протекают. Затем на основе этих законов теоретически предсказали существование электромагнитных волн, к которым, как нам сегодня известно, относится в том числе свет. Позже электромагнитные волны были получены экспериментально.

Как вам уже известно, физика — одна из естественных наук. Что же объединяет все естественные науки? Во-первых, это объект исследования — природа. Во-вторых, общим для этих наук являются способы исследования, в основе которых лежит **метод научного познания**.

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.

Однако для понимания и объяснения физических явлений однократного наблюдения недостаточно. Ждать же, когда явление вновь произойдёт, долго и неудобно. Поэтому учёные воспроизводят явление в лаборатории — проводят **опыты**, или, как говорят физики, ставят **эксперимент**. При проведении опытов выполня-

ют *измерения*. В опытах учёные моделируют природное явление, создавая специальные условия для его изучения.

В ходе проведения экспериментов накапливаются факты, на основе которых выдвигается *гипотеза* (предположение), объясняющая изучаемое явление.

Например, мы хотим выяснить, как зависит скорость парусника от силы ветра. При этом необходимо исключить другие причины, влияющие на скорость парусника, например скорость течения. Будем ставить опыт на модели парусника. В результате опыта мы получим ряд значений силы ветра и скорости. Далее необходимо выдвинуть гипотезу о связи силы, действующей на парусник, с его скоростью движения. Затем нужно вывести *закон* движения парусника, т. е. математически выразить зависимость скорости движения от силы ветра. Тогда мы сможем точно описать, как будет двигаться парусник при усилении ветра. Следующим шагом исследования является создание *теории* движения, которая могла бы описать движение не только данного парусника, но и других подобных объектов.

Для проверки теории нужно сравнить предсказываемые ею результаты, например для парусника другой массы или имеющего парус другого размера, с измеренными в ходе эксперимента. Если теория подтверждается опытом, можно сделать вывод, что она правильно объясняет физическое явление.

Теория строится на основе *модели* — идеализированного объекта, передающего только существенные для данного круга явлений признаки, поэтому имеет *пределы применимости*.

Первый опыт (см. схему) ставится для того, чтобы установить теоретическую зависимость величин, описывающую физическое явление. Второй опыт — для проверки правильности созданной теории. Таким образом, *эксперимент является не только источником знаний, но и критерием истинности теории*.





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

Итак, научный метод познания можно представить следующей последовательностью: наблюдение изучаемого явления или процесса, постановка опыта (или эксперимента), анализ результатов, выдвижение гипотезы (построение модели), построение теории, проверка теории опытом.

Правда, порой путь к истине не укладывается в эту схему. Научный поиск не всегда начинается с наблюдения и опыта, ибо теория не только объясняет какое-то явление, но и предсказывает новое. Тогда научный поиск начинается с гипотезы, справедливость которой проверяется опытом. Например, существование планеты Нептун было сначала предсказано на основе теории Ньютона, а уже потом её смогли увидеть.

Одним из основоположников метода научного познания в естествознании можно считать Галилео Галилея. Он первый поставил задачу количественного описания движения. Изучая падение тел, он решил сначала угадать закон движения тел, а потом уже проверить его экспериментально, роняя шары разного размера с Пизанской башни (рис. 5).



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



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

2. 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 2 м. Это означает, что в длине стола укладывается два отрезка длиной в 1 м. В этом случае длину стола сравнили с длиной отрезка 1 м. Или другой 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.

В разные времена разными народами использовались различные меры длины, или *единицы*. Когда-то моряки измеряли расстояние трубками (это расстояние, которое проходит судно за то время, пока выкуривается трубка). Точность этих измерений была невелика, и вряд ли какой-то капитан доверялся этим измерениям, входя в бухту ночью. 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 была создана единая система мер.



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

В 1960 г. была принята Международная система единиц — СИ (система интернациональная), которая используется в большинстве стран мира. В этой системе единицей длины является *метр* (м), единицей времени — *секунда* (с), единицей массы — *килограмм* (кг).

Каждая физическая величина имеет *символическое обозначение*, *числовое значение* и *единицу*. Например, запись $l = 2$ м означает, что длина равна двум метрам.

Часто измеряемую величину не удаётся выразить целым числом. Приходится пользоваться десятичными, тысячными и более мелкими долями. Для обозначения долей используют хорошо известные вам приставки «деци», «санти» и др.

Таблица 1. Приставки к названиям единиц

| | Обозначение | Приставка | Множитель |
|---------|-------------|-----------|-----------------------------------|
| Долевые | д | деци | 0,1 (или 10^{-1}) 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) |



Рис. 7. Измерительный цилиндр

Когда применяют единицы, которые в 10, 100 и т. д. раз больше основных единиц, пользуются кратными единицами, которые получают с помощью приставок «дека», «гекто», «кило» и т. д.

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), тер-

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



Рис. 8. Секундомер



Рис. 9. Амперметр



Рис. 10. Вольтметр

мометр, 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 представляет собой совокупность штрихов и цифр, соответствующих различным значениям измеряемой величины.

Расстояние между двумя ближайшими штрихами называют **делением шкалы**.

Определим, какому значению величины соответствует деление шкалы, на примере линейки. Шкала линейки имеет штрихи, обозначенные цифрами, расстояние между которыми разделено на 10 частей штрихами, около которых цифры не указаны. На линейке указано, что отцифрованные штрихи выражены в сантиметрах, значит, деление шкалы равно десятой части сантиметра — одному миллиметру.

Расстояние между двумя ближайшими штрихами шкалы, выраженное в единицах измеряемой величины, называют **ценой деления**.

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

Первый шаг в процессе измерения физической величины — определение цены деления шкалы измерительного прибора. Для этого следует:

- найти разность между двумя ближайшими штрихами шкалы, обозначенными цифрами;
- разделить полученное число на количество делений между ними.

Чтобы определить цену деления шкалы измерительного цилиндра (см. рис. 7), выберем два соседних обозначенных штриха, например



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



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

40 и 50 мл. Расстояние между ними поделено на два деления. Таким образом, цена деления 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, ширина, высота) 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 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.



УПРАЖНЕНИЕ 1

1. По рисунку 8 определите цену деления шкалы секундомера.
2. Определите цену деления и пределы измерения амперметра и вольтметра (см. рис. 9, 10).
3. Заполните таблицу, выразив размеры предметов в дольных и кратных единицах.

| 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)?



ЗАДАНИЕ

1. Найдите в сети Интернет или других источниках информации меры объёма, использовавшиеся в Древней Руси.
2. Измерьте время между ударами пульса. Для этого средним пальцем правой руки нащупайте у себя пульс на левом запястье. С помощью секундной стрелки часов измерьте время и отсчитайте 50 ударов пульса. Чему равно время между ударами пульса? Для каких измерений можно использовать собственный пульс? Найдите информацию о том, кто из учёных использовал пульс при измерениях.

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. Эта 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.) = 0,45359 кг
 1 унция = 28,35 г
 1 карат = 0,2 г

Меры объема

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

Единица измерения температуры

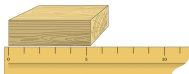
$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(t(^{\circ}\text{F}) - 32)$, где $t(^{\circ}\text{C})$ — температура по шкале Цельсия, $t(^{\circ}\text{F})$ — температура по шкале Фаренгейта

§ 5

ТОЧНОСТЬ И ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

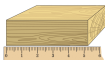
В ходе экспериментов необходимо проводить измерения. Они могут быть совсем простыми или очень сложными. Как бы это ни казалось странным, объединяет их то, что никакое измерение нельзя выполнить абсолютно точно. Покажем это на примере измерения длины деревянного бруска.

Измерим длину с помощью демонстрационной линейки. Для этого прежде всего определим цену деления линейки, она равна 1 см (рис. 14, а). Левый конец бруска совместим с 0, правый его конец окажется между метками 5



а)

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



б)

и 6, но ближе к метке 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 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»).

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

Измеряя длину бруска, мы определили, что ближайшей к краю бруска является метка с цифрой 5, и приняли значение 5 см за длину бруска. При этом мы допустили **погрешность отсчёта**. Погрешность отсчёта может быть также вызвана эффектом смещения края измеряемого тела или стрелки прибора относительно шкалы в связи с неправильным положением глаза наблюдателя. Отсчёт показаний следует производить, 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



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

при изготовлении. Такая погрешность называется **инструментальной**. Инструментальная погрешность прописывается в паспорте измерительного прибора. Если погрешность не указана, 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 $\Delta l = 0,5 \text{ см} + 0,5 \text{ см} = 1 \text{ см}$.

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

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

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

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

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, во втором случае точность измерения больше. *Чем меньше цена деления шкалы прибора, тем точнее проведено измерение.*

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 погрешность измерения. Если не сказано иного, учитывать нужно лишь погрешность отсчёта, возникающую при снятии показаний, приравнивая её к половине цены деления шкалы прибора.

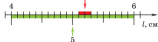


Рис. 16. Интервалы возможных значений длины бруска



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?



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



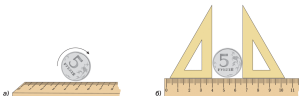
ЗАДАНИЕ



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



§ 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.

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



Рис. 18. Современная техника

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, 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 гениальным 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 и пятна на Солнце.



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

(1564—1642)

Итальянский физик, механик, астроном. Один из основателей естествознания



ИСААК НЬЮТОН

(1643—1727)

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

Гениальный 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.

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 проникновение её результатов во 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. Успехи техники способствуют созданию новых приборов и установок для исследования природы: радиолокаторов, электронных микроскопов, ядерных установок. Компьютеры позволяют производить сложнейшие расчёты, анализировать огромное количество опытных данных.



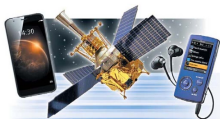
ДЖЕЙМС МАКСВЕЛЛ

(1831—1879)

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



Рис. 19. Достижения современной науки



СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ КОРОЛЁВ

(1907—1966)

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

Блистательным примером взаимного влияния науки и техники является космонавтика. Люди всегда мечтали 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 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).

Физика своими достижениями способствовала успехам многих наук:

- в биологии — определение строения ДНК;

- в истории — радиоуглеродный метод определения дат;

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



а)



б)



**ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
ГАГАРИН**

(1934—1968)

Российский лётчик-космонавт.
Первый в мире человек, совер-
шивший полёт в космическое
пространство

— в медицине — физические методы опреде-
ления заболеваний и их лечение;

— в географии — объяснение причин таких
явлений, как ветры, течения, изменения пого-
ды, землетрясения и др.

В наши дни научные исследования происхо-
дят 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 учё-
ный-физик **Виталий Лазаревич
Гинзбург** (1916—2009) назвал
24 проблемы, стоящие перед физи-
кой 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 сверхпрроводи-
мость; создание металлического водорода.



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



ЗАДАНИЕ



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



- Используя Интернет, подготовьте сравнительную таблицу «Человек в космосе» (длительность полёта, число космонавтов, стран).
- 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

- «Измерительные приборы в жизни человека» (возможная форма: презентация, изготовление прибора, макета).
- «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.

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.



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

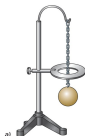


Рис. 21. Тепловое расширение металлического шара

Растворим в стакане с водой небольшое количество краски. Отольём в другой стакан немного окрашенной воды и долъём в него чистой воды. Жидкость стала бледнее, но осталась окрашенной. Теперь уже из второго стакана отольём часть жидкости и разбавим её чистой водой. Хорошо видно, что в третьем стакане вода тоже окрашена, но гораздо слабее (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. Проведем 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 промежут-

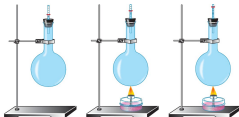


Рис. 22. Изменение объёма жидкости при нагревании

ки между частицами вещества увеличиваются, а при охлаждении — уменьшаются.

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?



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

§ 8

МОЛЕКУЛЫ

Что же представляют собой мельчайшие частицы вещества?

Французский учёный *Пьер Гассенди* (XVII в.), развивая учение об атомарном строении вещества, предположил, что все вещества состоят из мельчайших неделимых частичек — атомов, которые отличаются друг от друга формой, массой, размерами. Атомы могут образовывать небольшие устойчивые группы. Эти группы Гассенди назвал **молекулами**, т. е. «массочками» (от лат. *moles* — масса). 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. Из этого ограниченного набора атомов можно создать огромное количество молекул, что и объясняет большое разнообразие веществ в природе. Каждому веществу соответствует определённый тип молекул.

Молекула вещества — это мельчайшая частица данного вещества.



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



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

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, состоящая из атома кислорода и двух атомов водорода (рис. 23, а), под действием электромагнитного излучения может распадаться на отдельные атомы. И наоборот, два атома кислорода могут слиться в одну молекулу кислорода (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.

Существуют вещества, которые *состоят не из молекул, а из атомов*. К таким веществам относятся кремний, сера, мышьяк и некоторые газы (неон, гелий и др.). А есть вещества, например поваренная соль, мельчайшими частицами которых являются *ионы* (в пер. с греч. «странствующий»).

Прямое экспериментальное подтверждение реальности атомов и молекул было получено благодаря современным приборам — электронным и туннельным микроскопам. С помощью этих приборов были получены изображения, на которых различимы отдельные молекулы



Рис. 24. Изображение атомов платины, полученное на туннельном микроскопе¹



Рис. 25. Масляная плёнка на поверхности воды

и атомы (рис. 24). До этого существование атомов и молекул доказывалось лишь косвенным 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*.

На поверхность воды капают маленькую капелку 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 изучать 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 $0,003 \text{ мм}^3$ 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. Почему возможно 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



1. Возьмите бумагу в клеточку и покройте одну клеточку очень мелким песком (или манной крупой) в один слой. Обровняйте края иголкой, и при помощи той же иглы сосчитайте число песчинок, уместившихся в этой клетке (при работе полезно пользоваться увеличительным стеклом). Посчитайте число песчинок в 1 см^2 (4 клеточки). При помощи иглы плотно уложите песчинки в линию и сосчитайте, сколько песчинок уложится на протяжении одного сантиметра. 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 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.

Британский ботаник **Роберт Броун** в 1827 г. сделал удивительное открытие: он наблюдал непрерывное беспорядочное (хаотическое) движение взвешенных в жидкости частиц пыльцы растений. Движение частиц было



РОБЕРТ БРОУН

(1773—1858)

Британский ботаник.
Первооткрыватель броуновского движения

настолько причудливо, что учёный вначале принял их за живые существа.

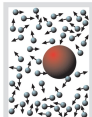
Броун не смог дать объяснение явлению, которое теперь носит его имя. **Броуновским** называли движение твёрдых мелких частиц, находящихся в жидкости. Движение этих частиц объясняется тем, что разное число молекул жидкости ударяет частицу с разных сторон. Частица движется в ту сторону, в которую воздействие молекул жидкости окажется сильнее.

Хаотичность движения частиц свидетельствует и о беспорядочном характере движения молекул жидкости. Частицы, которые движутся под действием ударов молекул жидкости, называют **броуновскими**.

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 определённого размера. Результаты этих опытов позволили Перрену определить массу атомов водорода и их количество в 1 г вещества. Ещё не видя атомов, учёные смогли узнать массу и число атомов и молекул.

Вы можете повторить опыт Броуна самостоятельно. Для этого вам понадобится стакан с водой, 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.



Столкновения хаотически движущихся молекул с броуновской частицей заставляют её двигаться



1. Что такое броуновская частица? 2. Как объяснить броуновское движение?



Почему нельзя наблюдать броуновское движение чайнок в стакане чая?



ЗАДАНИЕ



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

§ 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. Распространение запахов наряду с броуновским движением можно считать доказательством движения молекул.

Проведём мысленно такой эксперимент. Возьмём сосуд, перегородженный надвое подвижкой. В одной стороне сосуда пусть находится воздух, в другой — пары йода, имеющие коричневый цвет. Что произойдёт, если подвижку вынуть? Мы обнаружим, что пары йода распространяются в часть сосуда с воздухом. Через некоторое время вещества перемешаются. Произойдёт взаимное проникновение частиц йода между частицами воздуха.

Чтобы убедиться, что в непрерывном движении находятся молекулы не только газов, проделаем следующий опыт. Налейм в измерительный цилиндр воду примерно до половины. Затем с помощью воронки и стеклянной трубочки аккуратно нальём на дно раствор медного купороса¹.

Между водой и медным купоросом будет видна чёткая граница (рис. 26). Через несколько дней граница между жидкостями станет размытой. А спустя, например, месяц мы обнаружим, что границы раздела нет вовсе, жидкости перемешались.

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

Рис. 26. Диффузия в жидкостях

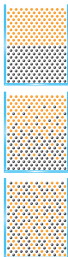
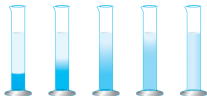


Рис. 27. Размывание границы раздела двух жидкостей при диффузии

Объясним наблюдаемое явление с позиций строения вещества. Так как молекулы находятся в непрерывном 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 диффузии происходит всасывание корнями растений питательных веществ, находящихся в почве,



Рис. 28. Диффузия в твёрдых телах

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. Приведите примеры диффузии в природе. 4. От чего зависит скорость диффузии?



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



УПРАЖНЕНИЕ 3

1. Чтобы огурцы длительное 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



- На небольшой кусок стекла положите несколько крупинок сухой краски (гуашь или акварель), зажгите свечу и капните парафином на краску. Пронаблюдайте явление. Объясните его.

§ 11

ВЗАИМНОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ И ОТТАЛКИВАНИЕ МОЛЕКУЛ

Мы выяснили, что 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,



Рис. 29. Сцепление свинцовых цилиндров



а)



б)



в)

Различные виды
соединения тел;

а — сварка;

б — пайка;

в — склеивание

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. Зачистим цилиндры, сложим вместе и, слегка придавив, подвесим на штатив. Как объяснить, что эти цилиндры могут удерживать достаточно тяжёлый груз (рис. 29)?

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 бумаги. Иначе гладкие стеклянные поверхно-

сти трудно будет разъединить через какое-то время. 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.

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.**

Взаимодействуют, т. е. притягиваются и отталкиваются, не только молекулы одного и того же вещества. Попробуйте провести такой опыт. Подвесьте на пружине с помощью нитей стеклянную пластину. Налейте в блюдце воду. Поднесите пластину к воде так, чтобы она слегка её касалась (рис. 30, а). Начинайте 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.

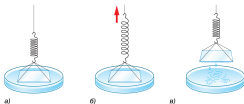


Рис. 30. Притяжение между молекулами стекла и воды



Явление
несмачивания
перьев водопла-
вающих птиц

Теперь посмотрите на пластину, она смочена водой, на ней остался тонкий слой воды (рис. 30, в). Значит, мы преодолевали силы притяжения между молекулами воды. Получается, что *притяжение между молекулами воды меньше, чем притяжение между молекулами воды и молекулами стекла*.

Если бы вместо воды мы взяли ртуть, то стекло осталось бы чистым. Говорят, что вода *смачивает* стекло, а ртуть *не смачивает*. Ртуть ведёт себя таким образом по отношению почти ко всем твёрдым телам: не смачивает кожу, дерево, пластмассы и др. Тогда как вода смачивает и эти вещества, и многие другие.

Вода может и не смачивать некоторые вещества. Из собственного опыта вам известно, что она не смачивает жирные поверхности. Перья водоплавающих птиц смазаны тонкой плёнкой жира, поэтому птицы выходят из воды сухими. Нефть смачивает перья птиц, вода при этом проникает под перья, и слой пуха, находящийся под ними, намокает. В этом случае птица может утонуть. Вот почему опасны аварии танкеров, перевозящих нефть.

Вода не смачивает поверхности, покрытые воском. Например, воскообразный налёт на листьях некоторых растений не даёт воде заливать так называемые устьица (крошечные отверстия в листьях), в противном случае нарушилось бы дыхание растений.

Обобщим сказанное: *если притяжение между молекулами твёрдого тела и молекулами жидкости, находящейся на его поверхности, больше, чем притяжение между молекулами жидкости, то жидкость растекается по этой поверхности*. Такое явление называют **смачиванием**.

Если *притяжение между молекулами поверхности и молекулами жидкости меньше, чем притяжение между молекулами жидкости, то жидкость не смачивает поверхность*. В этом случае жидкость имеет форму

немного сплюснутой капли. Вы не раз это могли наблюдать на траве рано утром.

Благодаря смачиванию вы можете вытереть руки полотенцем, написать ручкой решение задачи в тетради, постирать одежду и т. д. В технологии красильного производства тоже используют способность жидкостей смачивать ткани.



1. Почему тела не рассыпаются, хотя и состоят из отдельных молекул?
2. Почему, несмотря на притяжение между молекулами, тела имеют разный объём?
3. При каком условии заметнее проявляется отталкивание молекул; притяжение между молекулами?
4. Приведите примеры смачивания и несмачивания водой различных поверхностей. Объясните явления с позиций молекулярного строения вещества.



1. Что нужно сделать, чтобы можно было носить воду в решете?
2. Для того чтобы обувь дольше носилась, рекомендуют обрабатывать её различными специальными кремами и спреями. Объясните, что при этом происходит.



УПРАЖНЕНИЕ 4

1. Перед покраской поверхность металла тщательно обезжиривают. Для чего это делают?
2. Если ткань пропитана маслом, то она перестаёт пропускать воду. С чем это связано?
3. Объясните смысл поговорки «как с гуся вода». Какое физическое явление лежит в её основе?



ЗАДАНИЕ



1. Возьмите две небольшие прямоугольные стеклянные пластины. Вымойте их и хорошо вытрите. Плотно прижмите пластины друг к другу. Разъедините их.

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

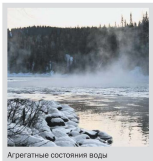


2. Возьмите полоску плотной бумаги шириной 2—3 см. Сделайте на ней подсолнечным маслом простой рисунок, например квадрат, круг, треугольник. Опустите бумагу с рисунком в воду, окрашенную гуашью или акварельной краской.

Выньте бумагу с рисунком из раствора, встряхните её и посмотрите на получившийся рисунок. Можно ли наблюдаемое явление использовать? Для чего?



3. Смажьте небольшой участок тыльной стороны кисти руки вазелином или жирным кремом. С помощью пипетки капните на руку по одной капле воды на смазанную поверхность и на несмазанную. Рассмотрите форму капель и сделайте вывод.



Агрегатные состояния воды

Мы выяснили, что молекулы вещества взаимодействуют между собой — притягиваются и отталкиваются. Различным взаимодействием частиц вещества объясняется существование трёх **агрегатных состояний вещества: газообразного, жидкого и твёрдого**.

Для вас не составит труда распознать, в каком состоянии находится вода, когда вы наливаете её в стакан, когда достаёте из морозилки кусочки льда. Это связано с тем, что в различных агрегатных состояниях вещества обладают разными свойствами.

Лёд — это твёрдое состояние воды. Вещества в твёрдом состоянии окружают нас повсюду. Твёрдые тела имеют определённую форму. Чтобы изменить форму твёрдого тела, нужно приложить некоторое усилие. Например, для создания ледяных скульптур используют специальные инструменты, а для обработки деревянных или металлических деталей применяют различные станки.

Мы уже упоминали о том, что твёрдые тела плохо сжимаемы. Так же плохо они растягиваются.

Твёрдые тела сохраняют свою форму и объём.

Так же как твёрдые тела, сохраняют свой объём жидкости. Если вы купили бутылку кефира объёмом 0,5 л, перелив кефир в поллитровую 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.

Изменение
формы жидкости



Рис. 31. Выдувание вазы из жидкого стекла



Рис. 32. Обнаружение воздуха в окружающем пространстве

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

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.

Если вы с помощью трубочки будете выдувать воздух в воду, то увидите пузырьки. Докажем, что вокруг нас находится воздух. Для этого перевернутый 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.

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 нуля находится в жидком состоянии, при температуре ниже нуля — в твёрдом (лёд), при кипении интенсивно превращается в пар. В обычных условиях свинец — твёрдое вещество, а при температуре более $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ становится жидкостью.

Развитие астрофизики и космонавтики позволило получить данные о внеземном веществе. Современные физические исследования позволили обнаружить в составе небесных тел Солнечной системы вещества, имеющиеся на Земле. Причём в зависимости от условий они

находятся в твёрдом, жидком или газообразном состояниях.



1. В каких агрегатных состояниях может находиться вещество?
2. Чем отличаются свойства веществ, находящихся 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



- 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?

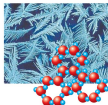
§ 13

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 молекулами существуют промежутки. Молекулы притягиваются и отталкиваются в зависимости от расстояния между ними. И ещё молекулы находятся в непрерывном движении. По всей видимости, молекулы могут находиться на разном расстоянии друг от друга (рис. 33), могут по-разному взаимодействовать и по-разному двигаться.

Легче всего сжимаемы газы, можно предположить, что расстояние между молекулами вещества в газообразном состоянии самое большое, намного больше размеров молекул. Так как молекулы находятся на большом рас-



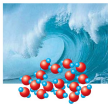
а)

Рис. 33. Расположение молекул воды:

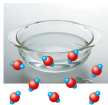
а — лёд;

б — вода;

в — водяной пар



б)



в)

стоянии, притяжение между ними слабое. Молекулы движутся беспорядочно с большими скоростями. Именно поэтому газ не имеет собственной формы и объёма, а занимает весь предоставляемый ему объём.

Во Флоренции в XVII в. был поставлен эффектный опыт. Серебряный шар наполнили водой и запаляли. 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 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 расстояние, примерно равное размеру самой молекулы. Именно поэтому 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 строго 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 (атомы) в газах, жидкостях и твёрдых телах? **3.** В чём состоит сходство и различие свойства жидкостей и газов? Объяснение дайте на основе представлений о молекулярном строении вещества. **4.** Объясните свойства твёрдых тел с позиций молекулярного строения вещества.



УПРАЖНЕНИЕ 5

1. На чувствительных весах уравнивали два одинаковых стакана. Стаканы заполнили до краёв: один — горячей, а другой — холодной водой. Равновесие весов нарушилось. Объясните почему.
- 2^{*1}. Что будет происходить с газом, если его постоянно охлаждать? Объясните свой предположение с позиций молекулярного строения вещества.



ЗАДАНИЕ



- Возьмите две одинаковые пластиковые бутылки. Одну наполните доверху водой, вторую оставьте пустой. Закройте бутылки крышками. Сожмите бутылки. 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, почему невозможно написать записку на промасленной бумаге, зачем клей делают жидким, какая 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

¹ Звёздочкой обозначены задачи повышенной сложности.

технологий. Знания о строении вещества, применённые в новейших технологиях, позволяют учёным 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 Тита Лукреция Кара, жившего в первой половине I в. до н. э. Соотнесите примеры, которые он описывает в этих отрывках, с известными вам положениями 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 увидеть 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, упавая, 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 стирания 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).



§ 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... 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.

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



Водитель неподвижен относительно автомобиля, но движется относительно дороги

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



Рис. 36. Траектория движения молекулы

Траектория может быть видимой (рис. 35), как след в небе от самолёта, след от метеора, след от колёс автомобиля, и невидимой, как при полёте вертолёт 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. Будет ли траекторией окружность, если вы проведёте кончиком ручки над окружностью, не касаясь листа?

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

Траектория движения молекулы газа — ломаная линия (рис. 36). Чтобы измерить её дли-



Рис. 37. Траектория движения лыжника

ну, нужно сложить длины всех отрезков. Траектория лыжника, прыгающего с трамплина, — плавная кривая (рис. 37).

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 . Единица пути в СИ — метр (м). Используют и другие единицы длины: миллиметр (мм), сантиметр (см), дециметр (дм) и километр (км).

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

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



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?



УПРАЖНЕНИЕ 6

1. Движется ли лёгкий воздушный шарик, уносимый ветром, относительно Земли; относительно ветра?
2. Движется ли человек, сидящий в седле скачущей лошади, 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 и 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. Найдите разницу их длин и запишите её значение в единицах СИ.



ЗАДАНИЕ

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

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. Можете также установить, что через равные промежутки времени слышны звуки, издаваемые при ударах колёс о места соединения рельсов. 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.

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 движения, набирая скорость, за равные промежутки времени проходит всё большее расстоя-



Движение ленты транспортера можно считать равномерным

ние. 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 типу 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. Обсудите свой выбор. 4. За каждую секунду тело проходит 2 мм. Можно ли считать его движение равномерным?



ЗАДАНИЕ



- Определите характер движения шарика в воде. Возьмите большую пластиковую бутылку, заполните её доверху водой. Сделайте шарик из фольги или пластилина. Опустите шарик в бутылку и, перевернув бутылку, наблюдайте его падение. Измерьте с помощью таймера телефона или часов с секундной стрелкой время движения шарика. Ещё раз проверьте бутылку. Отмечайте на бутылке фломастером положение шарика через равные промежутки времени. (Промежуток определите, исходя из общего времени движения шарика, разделив на 3—4 части.)

§ 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 отличий движущихся тел состоит в том, что за одно и то же время они проходят разные пути. За одну секунду самолёт пролетает 300 м, поезд проезжает 30 м, велосипедист — 15 м, пешеход проходит 1,5 м, черепаха проползает 0,02 м.



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



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



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

Самолёт движется быстрее поезда, поезд быстрее велосипедиста, велосипедист быстрее пешехода. Медленнее всех ползёт черепаха. Таким образом, движущиеся тела 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.

Предположив, что самолёт, поезд, велосипедист двигались равномерно, можно сказать, что скорость самолёта 300 метров в секунду, скорость поезда 30 метров в секунду, а велосипедиста — 15 метров в секунду. Единица скорости в СИ — метр в секунду ($\frac{\text{м}}{\text{с}}$).

Можно измерять скорость также в метрах в минуту ($\frac{\text{м}}{\text{мин}}$), в километрах в час ($\frac{\text{км}}{\text{ч}}$).

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.

Решение:

1. За 1 ч автомобиль проходит путь $160 \text{ км} = 160\,000 \text{ м}$, $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$. Следовательно, за 1 с



Современный поезд «Сапсан» развивает скорость до 250 км/ч

автомобиль пройдёт путь $160\,000\text{ м} : 3600 = 44\text{ м}$. Таким образом,

$$160 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{160\,000\text{ м}}{3600\text{ с}} = 44 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

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

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

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

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

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

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

Для того чтобы найти скорость тела, движущегося равномерно, нужно путь, пройден-

ный телом, разделить на время, за которое этот путь был пройден.

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

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

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

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

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.

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 участ-



Рис. 38. Обозначение скорости на рисунках

ках траектории, а значит, разными будут и отношения пути ко времени. Тем не менее движение в целом можно охарактеризовать, введя понятие **средней скорости движения тела**.

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

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}.$$

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 скорость тела $v_{\text{ср}} = \frac{s}{t} = \frac{100 \text{ м}}{20 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 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 каждом 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. Вот сообщили: «Скорость спортсмена у пятого флага $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ». Что такое скорость у пятого флага?



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.

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

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 | Дельфин-афалина | 15 |
| Ленивец | 0,03 | Автомобиль «Лада» | 20 |
| Пешеход | 1,3 | Скворец | 20 |
| Велосипедист | 5 | Стриж | 22 |
| Электросамолёт | До 11 | Самолёт Ту-204 | 230 |

| Движущийся объект | $v, \frac{м}{с}$ | Движущийся объект | $v, \frac{м}{с}$ |
|---|------------------|-------------------------------|-------------------|
| Пуля, выпущенная из пистолета (в момент вылета из ствола) | 315 | Молекула водорода (при 25 °С) | 1770 |
| Звук в воздухе при 0 °С | 332 | Искусственный спутник Земли | 8000 |
| Луна вокруг Земли | 1000 | Земля вокруг Солнца | 30 000 |
| Молекула водорода (при 0 °С) | 1693 | 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 при неравномерном движении? 6. Какую скорость имеют в виду, говоря о скорости автомобиля между двумя пунктами; скорости пули в момент вылета из ствола?



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). Изобразите скорости лыжника в обоих положениях.
2. Скорость, с которой бежит сурок, равна $12 \frac{м}{с}$. Максимально возможная скорость волка $45 \frac{км}{ч}$. Может ли волк догнать сурка?
3. Предложите единицы скорости, не указанные в параграфе.
4. Выразите скорости $72 \frac{км}{ч}$ и $18 \frac{км}{ч}$ в единицах СИ.
5. Выразите скорость, которую развивает дельфин-афалина, в $\frac{км}{ч}$.
6. Скоростной поезд за 10 мин проходит путь, равный 40 км. Определите его среднюю скорость.
- 7*. Автобус проходит расстояние 30 км между двумя посёлками со скоростью $60 \frac{км}{ч}$. В обратном направлении этот путь он проходит со скоростью $50 \frac{км}{ч}$. Найдите среднюю скорость автобуса за всё время движения.



ЗАДАНИЕ



1. Придумайте несколько задач, используя данные таблицы 2. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.
2. Определите скорости падения шариков из различных веществ и разных размеров в воде. Сделайте вывод о характере движения.

Указание. Возьмите большую пластиковую бутылку, заполните её доверху водой. Сделайте по высоте бутылки шкалу, наклеив кусочки пластыря через равные расстояния. Сделайте шарики из фольги или пластилина. Опустите шарики в бутылку и, переворачивая бутылку, наблюдайте их падение. Время движения между отметками измеряйте с помощью таймера телефона или часов с секундной стрелкой.

§ 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 можно будет обнаружить 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 километров в час»? Оно означает, что если спидометр всё время будет показывать та-



Рассчитать примерное время прибытия в пункт назначения можно, если известна скорость

$$s = vt$$

кую 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:

путь = скорость • время.

$$s = vt.$$

Вернёмся к задаче. Запишем кратко её условие и решение.

Дано:

$$v = 70 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$t = 5 \text{ ч}$$

$$s = ?$$

Решение:

$$s = vt,$$

$$s = 70 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 5 \text{ ч} = 350 \text{ км}.$$

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.

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:

$$s = v_{\text{ср}} t.$$

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

$$t = \frac{s}{v_{cp}}.$$

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.

| $t, \text{ч}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|---|----|-----|-----|-----|-----|
| $s, \text{км}$ | 0 | 70 | 140 | 210 | 280 | 350 |



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

А можно построить график движения машины и определить положение машины в любой момент времени по графику. Для построения графика выберем прямоугольную систему координат. По оси абсцисс будем откладывать время ($t, \text{ч}$), по оси ординат — путь ($s, \text{км}$). 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.

Пользуясь графиком, 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

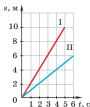


Рис. 40. График I соответствует телу, движущемуся с большей скоростью: $v_I > v_{II}$

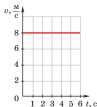


Рис. 41. График зависимости скорости от времени для равномерного движения

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 второго тела меньше скорости первого. На рисунке мы видим, что угол между графиком I и осью абсцисс больше, чем угол наклона графика II. Значит, график движения с большим углом наклона к оси абсцисс соответствует движению с большей скоростью.

С помощью графика можно представить зависимость скорости тела от времени. При равномерном движении скорость с течением времени не изменяется, поэтому график скорости 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?



УПРАЖНЕНИЕ 8

- С какой скоростью плыл лосось, если за 5 с он проплыл 30 м?
- Какой путь пройдет улитка по стволу дерева за 5 мин, если её скорость $0,1 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$?
- Средняя скорость роста дуба 0,3 м в год. Сколько лет дереву высотой 6 м?

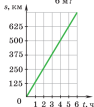


Рис. 42

- 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 $v_2 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
- На рисунке 42 приведен график зависимости пройденного пути от времени. По этому графику найдите путь, пройденный телом за 2 ч. Рассчитайте скорость тела.
- По графику зависимости скорости равномерно движущегося тела от времени (рис. 43) определите скорость движения тела и путь, который оно пройдет за 3 с; 7 с.

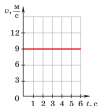


Рис. 43

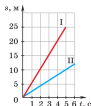


Рис. 44

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

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

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



ЗАДАНИЕ

■ 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 неравномерных движениях 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 этом году 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.

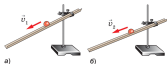


Рис. 45. Изменение скорости шарика зависит от угла наклона поверхности

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

Допустим, скорость шарика в первом случае вначале равнялась нулю, а через 2 с стала $8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 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 равноускоренном движении называют физическую величину, равную отношению изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло.

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

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

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

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

Ускорение показывает, на сколько метров в секунду изменяется скорость за одну секунду.

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 — $a_2 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

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

Пусть, например, автомобиль, двигаясь прямолинейно равноускоренно, за время $t = 30 \text{ с}$ 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 го-

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

$$v = v_0 + at$$

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

$$v = v_0 + at.$$

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. В каком случае ускорение тела отрицательно; положительно?



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



УПРАЖНЕНИЕ 9

1. Заметив опасность, водитель автомобиля, движущегося со скоростью $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, начал экстренно тормозить. Определите значение и направление ускорения автомобиля, если автомобиль остановился через 4 с.
2. Разгоняясь из состояния покоя, велосипедист за 11 с развил скорость $22 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите значения скорости велосипедиста в начальный момент времени t_0 и в момент времени t_k , соответствующий окончанию разгона. Определите значение ускорения 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.
4. Мотоциклист движется с постоянным ускорением $2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. За какое время его скорость изменится с 15 до $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

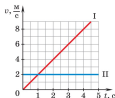


Рис. 46

5. 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?

6*. По графикам зависимости скорости от времени, приведённым на рисунке 46, определите: характер движения тел; ускорения, с которыми движутся тела; пути, пройденные телами за 4 с.

§ 19

ИНЕРЦИЯ

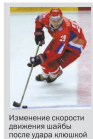
Представьте, что вы присутствуете на хоккейном матче. В пустые ворота команды, за которую вы болеете, летит шайба. Тысячи болельщиков хотят, чтобы шайба изменила направление скорости. Но никакие мысленные усилия не заставят её это сделать. Что же может изменить направление скорости шайбы? Ответ очевиден: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

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.



Изменение скорости движения шайбы после удара клюшкой

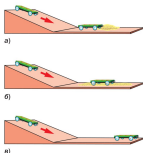


Рис. 47. Изменение скорости движения тела

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 меняется 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, что *если на тело не действуют другие тела, то оно движется с постоянной скоростью, т. е. равномерно прямолинейно, или покоится.*

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



Способ насаживания молотка на рукоятку

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 два признака 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. Под действием какого тела вы поворачиваете на велосипеде?
4. Объясните, как намокшая собака стряхивает с себя воду.
- 5*. Как правильно буксировать автомобиль с неисправными тормозами — с помощью гибкого троса или на жёсткой сцепке? Почему?



ЗАДАНИЕ



1. На лист бумаги близко к краю поставьте стопку из трёх шашек. Резко выдерните лист бумаги. Почему стопка шашек не рассыпалась?
2. На лист бумаги, который лежит на столе, поставьте стакан с водой. Резко выдерните бумагу из-под стакана. Почему стакан остался на месте? (Не экспериментируйте с пустым стаканом, можете его разбить.)

§ 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 пласти-

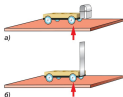


Рис. 48. Скорость тележки в отсутствие взаимодействия не изменяется

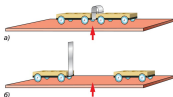


Рис. 49. Изменение скорости движения тележек при взаимодействии

ну. Пластины согнём и зафиксируем её нитью (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 разогнулась 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, обе 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.

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 через некоторое время, 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 большую скорость, чем нагруженная тележка.

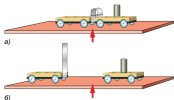


Рис. 52. Изменение скорости движения тележек в зависимости от их массы

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?

На тротуаре стоят две закрытые картонные коробки. Одна из них пустая, другая заполнена песком. Проходящий мимо мальчик ударил по одной из них ногой. Можете ли вы, наблюдая издали, определить, по пустой или по заполненной песком коробке ударил мальчик?

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

Для всякого тела характерно свойство препятствовать изменению своей скорости при внешнем воздействии. Это свойство тел называют *инертностью*, у разных тел оно проявляется в разной степени. 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.

Значит, коробка с песком обладает большей массой, чем коробка без песка; рюкзак с книгами имеет большую 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 $2 \frac{м}{с}$ и $6 \frac{м}{с}$. Скорость $2 \frac{м}{с}$ приобрела тележка большей массы. Скорость $6 \frac{м}{с}$ 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*).

За единицу массы в СИ принят **килограмм (кг)**. Массой 1 кг обладает вода объёмом примерно 1 л. Чайная ложка соли имеет массу примерно 10 граммов (грамм — это одна тысячная доля килограмма).

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

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг} = 10^{-3} \text{ кг};$$

$$1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг} = 10^{-6} \text{ кг};$$

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 10^3 \text{ кг}.$$

$$1 \text{ мг} = 10^{-3} \text{ г}$$

$$1 \text{ кг} = 10^3 \text{ г}$$

$$1 \text{ кг} = 10^6 \text{ мг}$$



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, волап 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 $1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Какую скорость приобрела вторая лодка?
4. Пуля вылетает из винтовки со скоростью $700 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите скорость винтовки при отдаче, если масса пули 9 г, а винтовки — 4,5 кг.

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 тела¹.

Измерять массу тел через взаимодействие на практике очень неудобно. Существует прибор, с помощью которого измеряют массу тел, — *весы*. В зависимости от целей измерений бывают весы учебными, бытовыми, медицинскими, вагонными и т. д. По конструкции весы разделяют на рычажные, пружинные, электронные.

На весах производится 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 *чашки 3*, на которых размещаются взвешиваемое тело и тело известной массы (гири). Равновесие весов определяется по *стрелке-указателю 2*, которая может отклоняться вправо-влево. При равновесии весов расположение стрелки-указателя должно быть вертикальным.

Поместим на чашки весов две тележки, имеющие одинаковые массы (это можно установить



Рис. 53. Учебные весы

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 гири

через взаимодействие — тележки проходят 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 (рис. 54) до тех пор, пока весы не окажутся в равновесии. Для определения массы тела необходимо найти сумму масс всех гирь на чаше весов.

При определении массы тела на рычажных весах 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 учебных 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



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

С развитием торговли и промышленности различие в единицах измерения стало неудобным, тогда возникла идея создания единой для всех системы мер. Соответственно тут же возник вопрос о создании эталонов для обеспечения единства измерений.



Международный эталон килограмма до 2018 г.

При попытке найти естественный эталон массы была изготовлена гирия из специального сплава, которая уравнивала 1 литр воды при определённых условиях. Но возникало много вопросов к чистоте воды, ведь природная вода всегда имеет примеси. Да ещё точность измерения объёма воды меньше точности измерения массы, что вносит дополнительные погрешности. Поэтому за единицу массы приняли массу специально изготовленной гири из сплава платины и иридия. С эталона сделано 40 копий, переданных в разные страны. В нашей стране хранится эталон килограмма № 12.

Эталон берегут очень тщательно, ведь любая попавшая на него пылинка — это уже несколько делений на чувствительных весах. Все работы ведутся с вторичными эталонами, по которым создаются рабочие эталоны. При изготовлении гирь их массы сравниваются с массой рабочего эталона или его копий. Существуют гири массой от 32 кг до 5 мг.

До последнего времени килограмм никак не удавалось связать ни с физическими константами, ни с какими-либо природными явлениями. И вот в 2018 г. на 26-й Генеральной конференции по мерам и весам было принято решение об отказе от материального эталона килограмма. Теперь для повышения точности измерений единицу массы определяют через постоянную Планка (с ней вы познакомитесь при дальнейшем изучении курса физики).

Современные эталоны представляют собой сложные аппаратные 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.



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



Рис. 56. Тела равной массы, но разного объёма

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 помощью молекулярной теории строения вещества. Вы знаете, что вещество состоит из молекул, между которыми есть промежутки. Причём 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**.

Плотность показывает, чему равна масса 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.

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

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, если $m = 1 \text{ кг}$, а $V = 1 \text{ м}^3$, то

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

Плотность является характеристикой вещества. Для данного вещества при данных условиях плотность — величина постоянная. Плотности веществ определены экспериментально и занесены 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 | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ | Жидкость | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 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 $t = 400^\circ\text{C}$) | 6800 | 6,80 |
| Масло машинное | 900 | 0,90 | Жидкий воздух (при $t = -194^\circ\text{C}$) | 860 | 0,86 |

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

| Газ | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ | Газ | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 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 $t = 100^\circ\text{C}$) | 0,590 | 0,00059 |
| Воздух (при 0 °С) | 1,290 | 0,00129 | 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 $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$? Ответ следует из определения плотности: масса 1 м^3 воды равна 1000 кг.

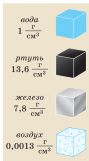


Рис. 57. Плотность кубика, длина ребра которого равна 1 см, численно равна массе этого кубика

На практике часто применяют единицу плотности *грамм на сантиметр кубический* ($\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$) (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* ($\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$), в 1000 раз меньше её значения, выраженного в *килограммах на метр кубический* ($\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

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 такие планеты, как 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 мень-

ше — $0,69 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. 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 объема тела; от массы? 4. Какие единицы плотности вам известны?



УПРАЖНЕНИЕ 12

1. Что имеют в виду, когда говорят, что алюминий легче стали?
2. Плотность древесины дерева амбача (растёт в тропической части Африки) $0,04 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. 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 $21,9 \text{ г}$ имеет объём 3 см^3 . Найдите плотность этого металла и, пользуясь таблицей 3, определите, что это за металл. Выразите плотность в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
7. Деревянный брусок длиной 10 см , шириной $5,5 \text{ см}$ и высотой 2 см уравновешен на весах гилями 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



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?

Космические плотности

Солнце, вокруг которого обращаются Земля и другие планеты, имеет массу в 745 раз большую, чем все планеты, вместе взятые, и в 330 000 раз большую, 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 $1,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. 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 — $40\,000 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Ещё большую плотность имеет звезда Койпера — $2\,400\,000 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, что в 100 000 раз больше плотности платины. 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. Если бы эта же коробка была наполнена веществом звезды Койпера, то на другую чашу пришлось бы поставить 50-тонный товарный вагон. Даже спичка, изготовленная из этого вещества, весила бы около 300 кг.

Но чудовищная плотность вещества звезды Койпера — не предел. Звёзд, обладающих очень большой плотностью (их называют белыми карликами), известно много. Одна из них, значащаяся под номером 457 в специальном каталоге звёзд, имеет диаметр в 3 раза меньше земного и при этом среднюю плотность $140\,000\,000 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Это в 58 раз больше плотности вещества звезды Койпера!

Напротив, плотность звёзд-гигантов очень мала. Например, Бетельгейзе имеет среднюю плотность около $0,000001 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10^{-6} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, 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 250 000 раз меньше плотности воздуха. Учёные подсчитали и среднюю плотность межзвёздной среды. Она очень мала и составляет примерно

$$0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10^{-24} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

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

§ 24

РАСЧЁТ МАССЫ И ОБЪЁМА ТЕЛА ПО ЕГО ПЛОТНОСТИ

$$m = \rho V$$

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. *Чтобы вычислить массу 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 $0,71 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Так как размеры канистры даны в сантиметрах, мы выбрали данную единицу.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$a = 50 \text{ см}$$

$$b = 35 \text{ см}$$

$$c = 16 \text{ см}$$

$$\rho = 0,71 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$m = ?$$

Решение:

$$m = \rho V.$$

Объём канистры найдём по формуле $V = abc$.

$$m = \rho abc,$$

$$m = 0,71 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 50 \text{ см} \cdot 35 \text{ см} \times \\ \times 16 \text{ см} = 19\,880 \text{ г} = 19,88 \text{ кг}.$$

Ответ: $m = 19,88 \text{ кг}$.



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

Получим из формулы плотности $\rho = \frac{m}{V}$ выражение для определения объёма тела, если известны его плотность и масса:

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

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 $7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$m = 15,6 \text{ кг}$$

$$\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{\text{к}} = ?$$

Решение:

Объём керосина, вытесненный деталью, равен объёму детали: $V_{\text{к}} = V_{\text{д}}$.

Найдём объём детали по формуле: $V_{\text{д}} = \frac{m}{\rho}$,

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

Ответ: $V_{\text{к}} = 0,002 \text{ м}^3$.



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



УПРАЖНЕНИЕ 13

- Какова масса 0,5 л воды, бензина, масла машинного?
- 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.
- Каков объём бензобака автомобиля, вмещающего 32 кг бензина?
- В аквариум длиной 30 см и шириной 20 см налита вода на высоту 25 см. Определите массу воды в аквариуме.
- Каков объём мраморной плиты массой 6,75 т?

6. Деталь, отлитая из меди, имеет массу M . Чему будет равна масса такой же детали, выполненной из дерева?



ЗАДАНИЕ

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

Если скорость тела изменяется, значит, действие какого-то тела изменяет его движение. Рассмотрим несколько примеров. Когда рабочий толкает вагонетку (рис. 58), когда вы толкаете 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). Сначала телом, действующим на пружину, была рука. Затем пружина, распрямляясь, подействовала на шарик и привела его в движение, изменив скорость.



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



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



Рис. 62. Прогибание доски под действием тела человека



Рис. 63. Деформация ластика

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

В результате взаимодействия может измениться **числовое значение скорости** и её **направление**.

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 покатила папа, и они стали набирать скорость быстрее. Кто оказывал на санки большее действие? Конечно, отец. Говорят, что он действовал на санки с **большой силой**, чем сын.

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

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**, но и **направлением**. Силу обозначают буквой \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. Изображение силы на чертеже и различные точки её приложения

(рис. 64, а), называют *точкой приложения* силы. Длина отрезка соответствует значению силы в определённом масштабе. Модуль силы обозначают буквой F без стрелки.

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 А, а к точке В (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.

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

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

$$1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н} = 10^3 \text{ Н};$$

$$1 \text{ мН} = 0,001 \text{ Н} = 10^{-3} \text{ Н}.$$

$$1 \text{ Н} = 10^{-3} \text{ кН}$$

$$1 \text{ Н} = 10^3 \text{ мН}$$



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 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?



Рис. 66. Траектория движения мяча



Рис. 67. Движение искусственного спутника Земли

И почему искусственный спутник, запущенный с Земли, движется по орбите вокруг Земли (рис. 67), а не падает, как камень или мяч?

С самого 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 из магазина. Ощущение тяжести как раз связано с притяжением купленных вами 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 в 2 раза сила притяжения уменьшается в 4 раза, при увели-

чении 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.

Согласно **закону всемирного тяготения**, 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**.

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.



Падение мяча



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

§ 27

СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА

Говоря о взаимодействии тел, мы пришли к выводу, что результатом действия силы может быть изменение формы тела — деформация.



После прекращения действия эспандер примет первоначальные размеры

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 $\vec{F}_{\text{упр}}$. Сила упругости 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*).

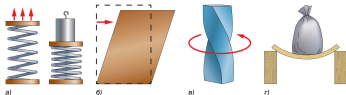


Рис. 68. Виды деформации:

а — растяжения и сжатия; *б* — сдвига; *в* — кручения; *г* — изгиба

Объясним, почему при деформации тела возникает сила упругости. Известно, что все тела состоят из молекул, между которыми действуют силы притяжения и отталкивания. Проявление этих сил зависит от расстояния между молекулами. При деформации изменяются расстояния между частицами твёрдого тела. В результате этого силы взаимодействия уже не будут компенсировать друг друга. Например, при деформации сжатия расстояние между молекулами уменьшится, и начнут преобладать силы отталкивания между ними. Возникнет сила упругости, которая будет препятствовать сжатию тела.

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

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 действует какая-то другая сила, уравнивающая силу тяжести.

Представьте, что на дно вазы приклеена губка для мытья посуды. Что произойдёт с губкой, когда вазу поставят на стол? Правильно, губка сожмётся (рис. 69). 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 деформированной опоры или подвеса, — это сила упругости. Она направлена в сторону, противоположную смещению частей тела при деформации, и в рассмотренных примерах уравнивает силу тяжести.

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



Рис. 69. Деформация губки

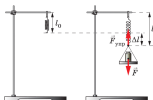


Рис. 70. Возникновение силы упругости при деформации

Рассмотрим опыт. Возьмём пружину, один конец которой закрепим в штативе. Определим длину пружины в отсутствие деформации l_0 (рис. 70).

Подеиствуем 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 пропорциональна деформации:

$$F_{\text{упр}} = k\Delta l.$$

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 тела, 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 и определяется опытным путём.

При выполнении разнообразных движений человеком и животными их сухожилия и части скелета подвергаются различным деформациям. 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?



УПРАЖНЕНИЕ 15

1. Какие виды деформаций вы знаете? Приведите примеры. Ответ оформите в виде таблицы.
2. Какую деформацию испытывает почва под действием машины? Какие изменения происходит с почвой при этом?
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 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



- 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. Объясните полученный результат.

§ 28

СВЯЗЬ МЕЖДУ СИЛОЙ ТЯЖЕСТИ И МАССОЙ ТЕЛА. ВЕС ТЕЛА

Какое тело действует на все тела на Земле? Конечно, Земля. Она притягивает к себе все тела с силой, которая изменяет скорость свободных¹ тел и сообщает им ускорение. Это ускоре-

¹ Свободными будем считать тела, на которые не действуют другие тела.

ние называют **ускорением свободного падения** 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 $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (более подробно об ускорении свободного падения вы узнаете в старших классах).

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

$$F_{\text{тяж}} = gm$$

$$F_{\text{тяж}} = gm.$$



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

Чему равна эта сила? Для разных тел эта сила будет различна. Для тела массой 1 кг она будет равна 9,8 Н, или приблизительно 10 Н. Много это или мало? На кусок туалетного 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 всемирного тяготения, то она зависит от расстояния между телом и центром Земли. Чем больше высота, на которой находится тело, тем больше расстояние от тела до центра Земли и тем меньше действующая на тело сила тяжести. Эта зависимость становится ощутимой на больших высотах. Так как масса тела постоянна, от расстояния до поверхности Земли зависит ускорение свободного падения. Кроме того, как показывают измерения, уско-



Рис. 71. Доска препятствует падению гири

рение свободного падения зависит от географической широты местности.

Вам известно, что на неподвижные тела, помимо силы тяжести, действуют другие силы (другие тела) (рис. 71). 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*.

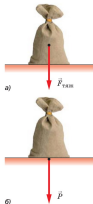


Рис. 72. Точки приложения:
а — силы тяжести;
б — веса тела

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 буквой \vec{P} , измеряется в *ньютон*ах (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.

$$P = F_{\text{тяж}} = gm.$$

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 (рис. 72).

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

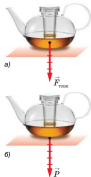


Рис. 73. Изображение:
а — силы тяжести;
б — веса тела

Дано:

$$m = 40 \text{ кг}$$

$$g^1 = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

$$F_{\text{тяж}} = ?$$

$$P = ?$$

Решение:

Сила тяжести:

$$F_{\text{тяж}} = gm$$

численно равна весу тела:

$$P = gm.$$

$$F_{\text{тяж}} = P = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 40 \text{ кг} = 400 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_{\text{тяж}} = P = 400 \text{ Н}.$

Для того чтобы изобразить силу на рисунке, нужно знать точку её приложения, числовое значение 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. 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 лифтера, на первом и последнем этаже небоскрёба?
2. Пружинные весы настроены (проградуированы) на экваторе. Будут ли верно работать эти весы на полюсе?
3. Почему на весах с коромыслом 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.

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

- В. Вес яблока 2 Н. Определите его массу. Изобразите на рисунке вес и силу тяжести, действующую на яблоко.
- Выразите в единицах СИ следующие силы: 5 мН; 83 кН; 0,27 кН.
- 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.
- На лёгкой пружине, верхний конец которой прикреплён к стоящему на столе штативу, 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 человеческий организм, 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. Вспомним, что весом тела называют силу, с которой вследствие притяжения к Земле тело действует на опору или подвес. Значит, 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 к Земле. 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 исчезают деформации тела, а значит, и вес при переходе тела от состояния

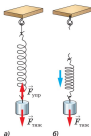


Рис. 74. Действие сил тяжести на тела



Состояние невесомости в космосе

покою 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.

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

Длительное состояние невесомости, которому подвергаются космонавты, может привести к ощутимым изменениям в работе организма человека. Нарушается работа органов кровообращения, системы питания. Ну и, конечно, нарушается 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.



Как измерить массу тела в условиях невесомости?

§ 29

СИЛА ТЯЖЕСТИ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ

Согласно современным представлениям, Солнечная система сформировалась 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 разруша-

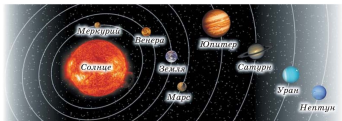


Рис. 75. Движение планет вокруг Солнца

лись, 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).

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

Почти все планеты имеют спутники, которые удерживаются на орбитах около планет силами всемирного тяготения. Самое большое количество спутников обнаружено у Сатурна — 82! 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,



а)



б)



в)

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

лежащие ниже этого уровня. Но только на Земле эти 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.

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.

Сила всемирного 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 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.



Рис. 76. На Луне человек мог бы поднять автомобиль.



КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ
ЦИОЛКОВСКИЙ

(1857—1935)

Российский учёный и изобретатель, основоположник современной космонавтики и ракетной техники

Наиболее интересно 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).

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, принося в неё много нового.

Практика расширяла кругозор и планы учёных, рождались новые теории. 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-гиганты и планеты земной группы. 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. С учётом данных по ускорению свободного падения $g_3 = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $g_{\text{М}} = 3,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $g_{\text{Л}} = 1,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.
2. Как можно на спутнике определить массу тела с помощью рычажных весов и гирь?



ЗАДАНИЕ



1. Изготовьте модель Солнечной системы.
2. Подготовьте доклад (презентацию) о приливах и отливах океана. Обратите внимание на величину периода, с которым происходит 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 тел, поэтому основная часть прибора для измерения силы, **динамометра** (от греч. *динамис* — сила, *метрео* — измеряю), — пружина (рис. 77, а). Пружина в зависимости от назначения динамометра 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, действующая на него сила тяжести уравнивается силой упругости (рис. 77, б). Так как сила упругости прямо пропорциональна деформации пружины, по деформации можно определить силу упругости пружины динамометра,

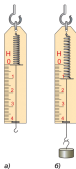


Рис. 77. Принцип действия динамометра



Рис. 78. Кистевой динамометр



Рис. 79. Тяговый динамометр

а значит, и силу тяжести, действующую на груз.

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, или **силомер** (рис. 78). С его помощью измеряется мускульная сила руки при сжатии её в кулак.

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.

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?



УПРАЖНЕНИЕ 18

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

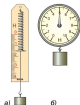


Рис. 80



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



1. Изготовьте динамометр, чтобы измерить 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. Если 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.



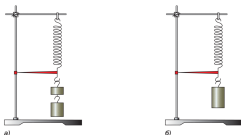
- 2*. Определите жёсткость пружины вашего динамометра.

§ 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

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



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 это тело сил, называют равнодействующей этих сил.



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

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.

На рисунке 83 показано правило сложения сил в этом случае:

$$R = F_1 + F_2,$$

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, направлена 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.

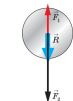


Рис. 85. Графическое изображение равнодействующей двух сил, действующих на тело в противоположные стороны



1. Сколько сил может действовать на тело? Приведите примеры.
2. Дайте определение равнодействующей силы.
3. Чему равна равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону?

ну? 4. Может ли тело, на которое действуют две силы, находиться в равновесии? Объясните почему. Приведите пример. 5. Что покажет нижний динамометр в опыте на рисунке 84, если конец нити, привязанной к столу, тянуть вверх с силой 5 Н?



УПРАЖНЕНИЕ 19

1. Мальчик, масса которого 40 кг, держит в руке гирию 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 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.

§ 32

СИЛА ТРЕНИЯ

Мы познакомились с двумя видами сил — силой тяжести и силой упругости. Эти силы непохожи друг на друга. 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 может 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 сопротив-



Рис. 86. Возникновение силы трения между санками и льдом



а)



б)

Рис. 87. Уменьшение силы трения с помощью смазки

ляется движению пальца, вы ощущаете *трение*.

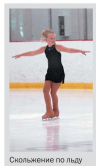
Сила трения возникает между соприкасающимися телами при движении одного тела по поверхности другого. Силу трения обозначают $\vec{F}_{\text{тр}}$. Направлена она в сторону, противоположную скорости движения тела.

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

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

В зависимости от характера движения тела различают *трение скольжения* и *трение качения*. Трение скольжения возникает при скольжении одного тела по поверхности другого (см. рис. 86). Трение качения возникает при движении колёсного транспорта — поездов, автомобилей, велосипедов; при перекачивании 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 си-



Скольжение по льду

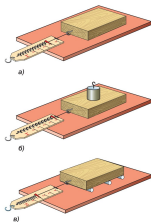


Рис. 88. Сравнение сил трения скольжения (а, б) и трения качения (в)

лы 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.

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

Рассмотренные примеры позволяют 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 сила трения качения оказалась меньше 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. Изобретение колеса по-

зводило 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



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

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



3. Докажите на опыте, что сила трения 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 в очень многих ситуациях, где мы о нём даже и не подозреваем.

Тело на наклонной плоскости находится в покое именно благодаря трению. Чтобы проверить данное утверждение, сделайте 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**.

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, транспортёра по перемещению людей в крупных торговых центрах (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.

Продолжить этот научно-фантастический рассказ вы можете самостоятельно.



Рис. 89. Перемещение людей на ленте трапозатора



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 покатилося 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 мы не смогли бы удержать в руках ни один предмет, не смогли бы 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 работал 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, 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, подшипников и других частей. Кроме того, для преодоле-



Рис. 90. Ребристые выступы на шинах позволяют увеличить трение



Рис. 91. Подшипники

ния 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.

Чтобы уменьшить трение 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 композитных¹ материалов. В *подшипнике скольжения* две поверхности, скользя друг по другу, предохраняют от изнашивания основную деталь.



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

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



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 подшпипники?
6. Опишите устройство подшпипника скольжения; шарикового подшпипника.



ЗАДАНИЕ

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 и сила трения. Понимаете, что характеризует плотность тела и как её определить. Можете рассчитать скорость тела при равномерном движении и его ускорение при неравномерном. 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. «Трение в жизни человека» (возможная форма: презентация, ролевая игра, викторина).

§ 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 зависи-*

т не только от её значения, но и от площади той поверхности, на которую она действует (рис. 94). Для характеристики этой зависимости существует специальная 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), так как давление на палец со стороны острия будет существенно больше. Действительно, площадь шляпки кнопки примерно 1 см^2 , а площадь острия — $0,0001 \text{ см}^2$. Если в обоих случаях действовать на кнопку с одинаковой силой, то во втором случае давление будет в 10 000 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.

Острые 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, дабы избежать его разрушения?

Из определения давления следует, что для уменьшения давления при неизменной силе нужно увеличить площадь поверхности, на ко-



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

тору действует сила. Недаром шины грузовых 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 новой физической величины, определяемой некоторой формулой. Для этого в формулу $p = \frac{F}{S}$ надо подставить единицы силы и площади:

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

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

Единица давления — *ньютон на квадратный метр* $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$. В СИ она носит название **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 м² перпендикулярно этой поверхности.

1 Па — очень маленькое давление. Примерно такое давление оказывает лист бумаги на поверхность стола. На практике чаще применяются **килопаскалы (кПа)** и **гектопаскалы (гПа)**.

$$1 \text{ Па} = 10^{-3} \text{ кПа}$$

$$1 \text{ Па} = 10^{-2} \text{ гПа}$$

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

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

Пример. Рассчитайте давление, которое оказывает станок массой 800 кг, если площадь его опоры 400 см².

Запишем условие задачи и решим её.

$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ m = 800 \text{ кг} \\ S = 400 \text{ см}^2 \\ g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \\ \hline p = ? \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{СИ} \\ 0,04 \text{ м}^2 \end{array}$$

Решение:
Давление, производимое станком:

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

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: $p = 200 \text{ кПа}$.



1. Приведите примеры, иллюстрирующие, что действие силы зависит от площади опоры, на которую действует эта сила. 2. Что называют давлением? 3. Почему при уколе острая иглолка 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?



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 гусениц, опирающихся на землю, $1,6 \text{ м}^2$? Во сколько раз оно отличается от давления, производимого станком (см. пример на с. 116)?
3. Площадь дна кастрюли 1000 см^2 . Какое давление на дно кастрюли 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 подошвы 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 полыни?



Рис. 97

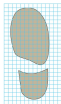


Рис. 98



ЗАДАНИЕ



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?



2. Зная свой вес, подчитайте, 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 ($0,25 \text{ см}^2$), 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.

§ 36

ДАВЛЕНИЕ ГАЗА

Из окна квартиры мы видим, как у деревьев, бывших до того неподвижными, вдруг затрепетали листья, пришли в движение ветки, нахло-

нились 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.

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.

Такой вывод подтверждает и следующий опыт. Поместим завязанный резиновый шарик, содержащий небольшое количество воздуха, под колокол воздушного насоса. В слабо надутым состоянии он имеет неправильную форму



Рис. 99. Хаотическое движение молекул газа

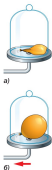


Рис. 100. Опыт, демонстрирующий, что давление газа по всем направлениям одинаково

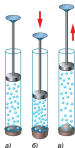


Рис. 101. Изменение давления газа при изменении его объёма

(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 изнутри — не изменяется. Число ударов о резиновую оболочку снаружи становится меньше, чем изнутри, что приводит к раздуванию шарика.

Сожмём двумя руками шарик. Объём газа данной массы в шарике уменьшится, причём чем сильнее сжат шарик (и чем меньше объём газа в нём), тем большее усилие требуется для дальнейшего сжатия. Поведение шарика подобно пружине, при большем сжатии давление в нём будет больше. Объяснить такое поведение газа можно так: чем меньше объём газа, тем больше частиц приходится на единицу его объёма и тем чаще ударяются молекулы о стенки сосуда, в котором они находятся. Раз удары чаще, то давление должно быть больше.

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).

Продemonстрируем это на опыте (рис. 101, а). Медленно вдвигая поршень внутрь стеклянной трубки, затянутой резиновой плёнкой, увидим, что плёнка прогибается наружу (рис. 101, б). Причём чем больше вдавлен поршень в трубку, тем сильнее деформируется плёнка. Если поршень поднимать вверх, плёнка втянется внутрь трубки (рис. 101, в). Так как число молекул снаружи трубки не менялось, можно объяснить это уменьшением давления в трубке.

Мы предполагали температуру газа неизменной и тем самым неизменной скорость молекул.

Теперь же будем считать объём газа данной массы постоянным, а температуру — величиной изменяющейся. Предположим, что нагревается пар в герметическом котле. Такая про-



Рис. 102. Баллон для хранения газов

цедура 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 приводит к тому, что молекулы 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.**

Поскольку газы легко сжимаемы, хранят и перевозят их в сильно сжатом состоянии. При этом давление их велико (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 объясняет молекулярная теория строения вещества изменение давления газа при изменении его объёма?
5. Число молекул воздуха в закрытом сосуде не меняется. Почему же увеличивается давление воздуха на стенки сосуда, если сосуд нагревать?
6. Сжатые газы хранят в прочных стальных баллонах. Почему?



ЗАДАНИЕ



1. Возьмите пластиковую бутылку с завинчивающейся пробкой ёмкостью 0,5 л. Подержите её час в морозильной камере. Затем налейте в стакан воду, откройте бутылку и опустите её горлышком в стакан с водой, обхватив бутылку двумя руками. Дайте объяснение наблюдаемому явлению.
2. Воздушный шарик, вынесенный из комнаты на улицу зимой, становится слабо надутым. Дайте объяснение наблюдаемому явлению.



БЛЕЗ ПАСКАЛЬ

(1623—1662)

Французский учёный, открыл и исследовал ряд важных свойств жидкостей и газов. Опытами подтвердил существование атмосферного давления

Как вам уже известно, твёрдое тело передаёт оказываемое на него давление строго в направлении внешнего воздействия. 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.

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 частицы газа очень скоро снова распределятся равномерно по всему объёму сосуда и окажутся ближе друг к другу, чем раньше (рис. 103, в). Поэтому давление увеличится, но по всем направлениям будет одинаково.

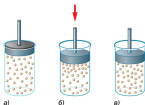


Рис. 103. Передача давления частицам газа (или жидкости) вследствие движения молекул



а)



б)

Рис. 104. Передача давления во все стороны без изменений:
а — жидкостями;
б — газами

Давление, оказываемое на жидкость или газ, передаётся ими по всем направлениям без изменений.

Это утверждение впервые сформулировал Паскаль, поэтому его называют **законом Паскаля**.

Подтверждением этого закона является сферическая форма пузырьков воздуха в воде, мыльных пузырей. Когда вы надуваете 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 укреплен 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.



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)?
5. Как можно на опыте показать, что газ производит давление на стенки сосуда, в котором он находится?



УПРАЖНЕНИЕ 21

1. На твёрдое тело, песок и воду действовали 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?

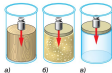


Рис. 105



Рис. 106



Рис. 107



ЗАДАНИЕ



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. Проведите опыт, показанный на рисунке 107. Зарисуйте или сфотографируйте результаты опыта при различном сжатии шарика.

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* — ветер, 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. Рабочие насадки молотка приводятся в действие поршнем 3, на который оказывает давление сжатый воздух. Поршень передаёт усилие сжатого воздуха на ударную часть насадки 4 и тем самым приводит её в движение. 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 давит на поршень то с одной, то с другой стороны, что вызывает быстрое возвратно-поступательное движение поршня и насадки молотка.

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.

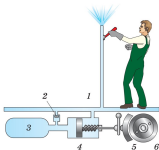


Рис. 109. Устройство пневматического тормоза

Если открыть стоп-кран, сжатый воздух вырвется из магистральной трубы, что приведёт к уменьшению давления в правой части тормозного цилиндра. Из левой части тормозного цилиндра и резервуара сжатый воздух не выпустит клапан 2. Под давлением сжатого воздуха поршень 4 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?

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.

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.

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

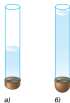


Рис. 110. Прогибание плёнки при увеличении столба воды



Рис. 111. Выпрямление плёнки при одинаковом уровне воды в трубке и в сосуде



Рис. 112. Выпрямление плёнки при равенстве сил, действующих на неё с обеих сторон



Рис. 113. Отпадание дна сосуда под действием силы тяжести

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).

Заменяв 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.

Тренированный ныряльщик может погрузиться без технических приспособлений на глубину не более 30 м. При более глубоких погружениях (до 80 м) используют акваланги. 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 батискафы и батисферы (см. рис. 114). Батисфера — это стальной полый шар, способный выдерживать 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.



Рис. 114. Давление на дне морей и океанов

Батискафы способны опускаться на глубины более 10 км. Они состоят из очень прочного экипажного отсека (гондолы), соединённого с огромной ёмкостью, 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 стенки 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 острый кончик при действии на неё силы 10 Н.

§ 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:

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

$$p = \rho gh$$

т. е.

$$p = \rho gh.$$

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 давление жидкости на стенки сосуда в любой точке на уровне h также рассчитывается по формуле $p = \rho gh$.

Пример. В цилиндр налита ртуть, высота столба которой 0,15 м. Определите давление ртути на дно цилиндра, если плотность ртути $13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$h = 0,15 \text{ м}$$

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

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$p = ?$$

Решение:

Давление ртути на дно цилиндра:

$$p = \rho gh,$$

$$p = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,15 \text{ м} =$$

$$= 20\,400 \text{ Па} = 20,4 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = 20,4 \text{ кПа}$.



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. Что такое давление внутри жидкости? Как его определить экспериментально? Как рассчитать?



УПРАЖНЕНИЕ 22

- Вычислите давление жидкости плотностью $1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ на дно сосуда, если высота столба жидкости 0,1 м.
- На сколько давление воды на глубине 10 м больше, чем на глубине 1 м?
- В ёмкости, наполненной нефтью до верха, на расстоянии 140 см от крышки имеется кран (рис. 116). Определите давление на кран.



Рис. 116



Рис. 117

- 4*. Сосуд, имеющий форму, показанную на рисунке 117, заполнен водой. Рассчитайте, чему равно 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



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.



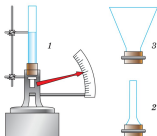
2. Возьмите пластиковую бутылку. Отрежьте дно. Отвинтите крышку. По диаметру горлышка вырежьте кружочек из плотной бумаги или тонкого картона. Через центр кружочка проденьте нитку с узелком на конце. Длина нити должна быть больше высоты бутылки. Нить пропустите через бутылку. Удерживая кружок прижатым к горлышку с помощью нити, опустите бутылку в воду, горлышком вниз. Отпустите нитку. 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).

Рис. 118.
Экспериментальная
проверка
гидростатического
парадокса



Этот вывод можно подтвердить с помощью опыта, приведённого на рисунке 118. Дном каждого сосуда является укреплённая в стойке прибора 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, в сосуде 2 сила давления на дно больше веса жидкости, а в сосуде 3 — меньше. В сосуде 1 обе силы одинаковы.

§ 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 наливается и в другую трубку, причём уровень воды в трубках установится одинаковый (рис. 119, б). Поднимем правую трубку, увидим, что уровень воды в обеих трубках оди-

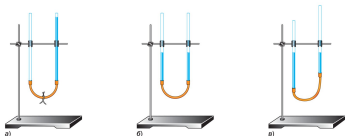


Рис. 119. Установление уровня жидкости в сообщающихся сосудах



Рис. 120. В сообщающихся сосудах жидкость устанавливается на одном уровне



Рис. 121. Прибор, демонстрирующий установление уровня жидкости в сообщающихся сосудах

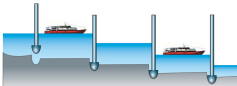
наковый (рис. 119, в). Как бы мы ни смещали трубки относительно друг друга, поверхность воды в трубках установится на одном уровне.

Сосуды такого рода называют *сообщающимися*. Часто используемые вами чайник, кофейник, лейка — сообщающиеся сосуды. Как мы убедились из опыта, уровень воды, налитой, например, в лейку, в резервуаре лейки и в её носике одинаковый (рис. 120).

В сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне независимо от формы и размеров сосуда (рис. 121).

Объясняется это следующим образом. Жидкость покинется, не перетекает из одного сосуда в другой, следовательно, давление столбов жидкости слева и справа одинаково (см. рис. 119, б). Давление столба жидкости зависит от его высоты и плотности. Поскольку 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



а)

б)

Рис. 122. Шлюз: а — устройство; б — схема шлюзования судов



Рис. 123. Установление уровня жидкостей разной плотности

увеличивается высота уровня жидкости, а следовательно, и давление. Вода перемещается в другую трубку до тех пор, пока давление столбов жидкости не станет одинаковым.

Принцип сообщающихся сосудов используется 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 равна и высота столбов этих жидкостей.

При равенстве давлений высота столбов жидкости в сообщающихся сосудах (измеряемая от уровня, разделяющего жидкости) обратно пропорциональна плотностям жидкостей.



1. Какие сообщающиеся сосуды есть у вас дома? **2.** Как в сообщающихся сосудах располагаются поверхности однородной жидкости; разнородных жидкостей? **3.** Объясните свойство сообщающихся сосудов.



Выделите главный признак, по которому можно установить, являются ли сосуды сообщающимися.



УПРАЖНЕНИЕ 23

1. Будет ли уровень жидкостей одинаков, если в сосуды (см. рис. 121) налить ртуть, керосин, масло и воду?
2. Объясните действие водомерного стекла, показанного на рисунке 124. Подумайте, для чего используют водомерные стекла.

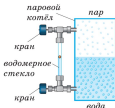


Рис. 124

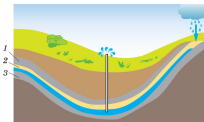


Рис. 125

3. Объясните действие артезианского колодца, изображённого в разрезе на рисунке 125. Слой 2 состоит из песка или другой породы, легко пропускающей воду. Слой 1 и 3, наоборот, водонепроницаемы.

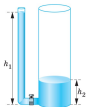


Рис. 126

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 открутят, если диаметры сосудов различаются в 4 раза?



ЗАДАНИЕ



1. Изготовьте модель фонтана.
2. Объясните принцип действия шлюзов (см. рис. 122). На каком явлении основана их работа?



Рис. 127. Шар для взвешивания воздуха



— N₂ (азот)
 — O₂ (кислород)
 — Ar (аргон)
 — другие газы

Состав атмосферы Земли

В предыдущих параграфах мы убедились, 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. Массу гирь, которые придётся положить на другую чашку весов, чтобы восстановить их равновесие, и будет равна массе воздуха в объёме шара.

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



Рис. 128. Подъем воды вслед за поршнем



Рис. 129. Модель автопоилки для птиц

В XVII в. такие учёные, как Паскаль, *Эванджелиста Торричелли* (1608—1647), *Отто Герике* (1602—1686) и др., приложили много сил, чтобы убедить людей 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? Она сжалась 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.

Продедаем 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 выдвигению поршня.

Опустим цилиндр с поршнем в сосуд с водой и начнём поднимать поршень (рис. 128). При подъёме поршня между ним и водой образуется безвоздушное пространство, в которое поднимается вода под давлением наружного воздуха.

В основе принципа действия автопоилки для птиц (рис. 129) лежит использование атмосферного давления. Пока горлышко бутылки находится ниже уровня воды в корытце, из бутылки вода не выливается. Это значит, что атмосферное давление на открытую поверхность воды уравнивает давление воздуха и столба воды в бутылке. Когда птица пьёт и горлышко бутылки выходит из воды, часть воды выливается из бутылки в корытце.



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 0°C .
- 3*. Почему, находясь в походе, туристы, чтобы выпить молоко из консервной банки, делают в ней два отверстия, а не одно?



ЗАДАНИЕ



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 и опустить трубку под воду, то в сосуде начнёт бить фонтан. Объясните принцип действия такого фонтана.



3. Изготовьте автопоилку для своего питомца.

4. Для взятия проб различных жидкостей часто используют прибор ливер (рис. 131). Объясните действие этого прибора.



Рис. 130

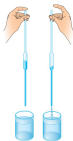


Рис. 131

ЭВАНДЖЕЛИСТА
ТОРРИЧЕЛЛИ

(1608—1647)

Итальянский физик и математик. Открыл существование атмосферного давления, изобрёл ртутный барометр

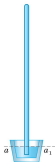


Рис. 132. Равновесие воды в трубке, находящейся в сосуде с водой

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?

Проведем опыт. В длинную стеклянную трубку, запаянную с одного конца, нальём доверху воды. Заткнём 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 выливается, 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.

Именно это и сделал итальянский учёный Торричелли. Вместо воды он 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 столбика 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. Давление столба ртути просто вычислить, зная его высоту. Если высота столба ртути 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 чашку); если атмосферное давление увеличится, то и высота столба ртути в трубке увеличится (часть ртути из чашки перейдет в трубку).

Прибор с трубкой ртути, созданный на основе опыта Торричелли, стали использовать для измерения атмосферного давления. Такой прибор называют **ртутным барометром** (от греч. *барос* — тяжесть, давление). Использование ртутного барометра привело к тому, что давление измеряют в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

$$1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133,3 \text{ Па}.$$

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 см², 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 уравниваются. 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. Давление внутри человеческого тела такое же, как внешнее давление. Почему? Так как мы состоим в основном из жидкости, внешнее давление передаётся в организме по всем направлениям без изменения. В организме человека есть среднее ухо, которое сообщается через нос с атмосферой; при насморке это сообщение нарушается. Тогда давление в среднем ухе может отличаться от внешнего, и человек испытывает боль в ушах при изменении внешнего давления. С этим вы могли столкнуться при взлёте и посадке самолёта, при нырянии на большую глубину.

Передавая прогноз погоды, часто показывают карту, которой пользуются метеорологи, анализирующие изменение атмосферного давления. Вы, видимо, обращали внимание на области самого низкого и самого высокого давления (часто на экране они окрашены в разные цвета). С распределением атмосферного давления связаны направление и сила ветров. Из области высоких давлений воздух «выжимается» в места с более низким давлением, образуя перемещение воздушных масс — ветер. Чем большее различие в давлениях, тем сильнее ветер. Однако на направление ветра также оказывает влияние вращение Земли.



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?



УПРАЖНЕНИЕ 25

1. Столб воды какой высоты создаёт давление, равное 760 мм рт. ст.?
2. Вычислите силу атмосферного давления на поршень шприца площадью 3 см². 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 см². Какое давление испытывает дно кастрюли, если в неё налить 3 кг воды?



ЗАДАНИЕ

1. Если стакан с водой накрыть листом бумаги и, придерживая бумагу рукой, перевернуть, то бумага не отпадает после того, как рука убрана, а вода не вытекает (рис. 134). Почему?



Рис. 134

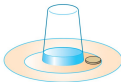


Рис. 135



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. Заполнив длинную, запаянную с одного конца стеклянную трубку ртутью, он зажал открытый конец её пальцем и опустил в чашку с ртутью.

Отняв 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 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), — так велика была сила давления воздуха, прижимавшая их друг к другу.



Рис. 136. Опыт О. Герике с магдебургскими полушариями



Как, используя результаты опыта Торричелли, оценить массу земной атмосферы?



Рис. 137. Барометр-анероид



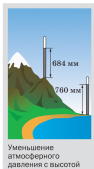
Рис. 138. Устройство барометра-анероида

Ртутный барометр для измерения атмосферного давления громоздкий, хрупкий и открытый, а парь ртути очень ядовиты. 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. 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.

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. Барометр-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).

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

$$760 \text{ мм рт. ст.} = 101\,300 \text{ Па} = 1013 \text{ гПа.}$$

При небольших подъёмах (до высоты 2000 м) давление уменьшается в среднем на 1 мм рт. ст. (на 133,3 Па) на каждые 12 м подъёма. При дальнейшем удалении от поверхности земли атмосферное давление снижается медленнее. Например, на высоте Останкин-



а)

б)

Рис. 139. Высотомеры:
а — механический;
б — электронный

ской 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 **высотометром** (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 высотометр?



К динамометру подвешена тонкостенная трубка ртутного барометра. Что показывает динамометр? Будут ли меняться его показания при изменении внешнего давления?

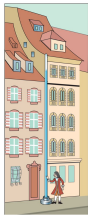


Рис. 140



УПРАЖНЕНИЕ 26

1. Запишите показания барометра-анероида (см. рис. 137) по каждой шкале с учётом 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.

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 уравнивается избыточным давлением жидкости и атмосферным давлением в правом колене, жидкость остановится.

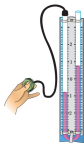


Рис. 141. Изменение уровня жидкости в коленах манометра

Рис. 142. Измерение давления жидкостным манометром

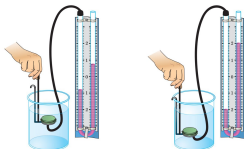


Рис. 143. Металлический манометр



Рис. 144. Устройство металлического манометра

Следовательно, о разнице между неизвестным давлением и атмосферным давлением можно судить по высоте избыточного столба жидкости, т. е. разности уровней жидкости в коленях 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 коленях манометра больше, следовательно, и давление жидкость производит большее.

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 системы передачи 3 приводит в движение стрелку 2 около шкалы прибора.

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.

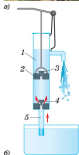


Рис. 145. Колонка с поршневым жидкостным насосом: а — внешний вид; б — устройство

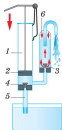


Рис. 146. Поршневой жидкостный насос с воздушной камерой

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 нагнетательный клапан под действием атмосферного давления закрывается, и под поршнем возникает пониженное давление воздуха. Под действием атмосферного давления вода поднимает всасывающий клапан и по всасывающей трубе 5 заполняет цилиндр насоса. Однако вода не может заполнить всё пространство под поршнем, поскольку этому препятствует давление оставшегося воздуха под поршнем. По всасывающей трубе вода поднимается на высоту 5—7 м вместо 10,3 м таким образом, чтобы давление остатков воздуха и столба воды во всасывающей трубе не превышало атмосферного давления.

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.

Поршневые насосы с воздушной камерой (рис. 146) позволяют поднять воду на большую 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 действия такого насоса? 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 нефть, ртуть при нормальном атмосферном давлении.
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. *гидравли* — 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.

Подойдём к малому поршню площадью S_1 силой F_1 . Внутри цилиндра под поршнем создаётся давление, равное $p = \frac{F_1}{S_1}$. Это давление,



Рис. 147. Принцип действия гидравлической машины

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 $S_1 = 2 \text{ см}^2$ силой $F_1 = 240 \text{ Н}$. Тогда на большой поршень с площадью $S_2 = 120 \text{ см}^2$ будет действовать сила давления, равная $F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}$, $F_2 = 240 \text{ Н} \cdot \frac{120 \text{ см}^2}{2 \text{ см}^2} = 14\,400 \text{ Н}$, т. е. в 60 раз большая.

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 большую.

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 вниз малый поршень 3 оказывает на жидкость большое давление, ко-

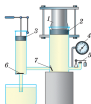


Рис. 148. Устройство гидравлического пресса



Гидравлический пресс

торое 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, используют специальные насосы.

В двигателе автомобиля стоит подобный масляный насос, который 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 гирию массой 2 кг. Гирию какой массы при этом сможет удерживать 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



Рис. 149



1. Используя Интернет, найдите, как устроен автомобильный гидравлический домкрат (рис. 149). Раскажите, 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 восьмизэтажного 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

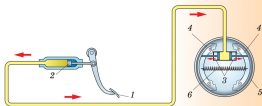
же время при изготовлении требуется очень большая точность. В нашей стране имеются гидравлические прессы, рабочее усилие которых ещё больше, например 700 000 кН.

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 сжать 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 машину 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



§ 46

ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА ПОГРУЖЁННОЕ В НИХ ТЕЛО

В воде вы сможете 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?

Мы знаем, что находящаяся в сосуде жидкость оказывает давление на его дно и стенки.



Рис. 151. Силы, действующие на погружённое в жидкость тело

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 попарно равны и 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

$$F_1 = p_1 S = \rho_{\text{ж}} g h_1 S,$$

так как давление жидкости $p_1 = \rho_{\text{ж}} g h_1$, 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

$$F_2 = p_2 S = \rho_{\text{ж}} g h_2 S.$$

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 :

$$F_{\text{выт}} = F_2 - F_1.$$

Из рисунка 151 видно, что $h_2 - h_1 = h$, где h — высота параллелепипеда.

Тогда

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g h_2 S - \rho_{\text{ж}} g h_1 S = \rho_{\text{ж}} g S (h_2 - h_1) = \rho_{\text{ж}} g S h.$$

Но $Sh = V$ — объём параллелепипеда, $\rho_{\text{ж}} V = m_{\text{ж}}$ — масса жидкости в объёме параллелепипеда, $m_{\text{ж}} g = P_{\text{ж}}$ — вес жидкости.

Следовательно,

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

Выталкивающая сила равна весу жидкости в объеме погруженного 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.

Проведем опыт. Уравновесим на весах стеклянную колбу, закрытую пробкой, грузиком. Поместим под колбу широкий сосуд так, чтобы он полностью окружал колбу. Сосуд напомним углекислым газом (рис. 153). Плотность угле-

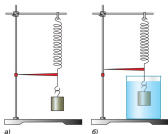


Рис. 152. Обнаружение силы, выталкивающей тело из жидкости

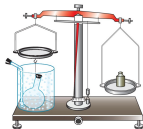


Рис. 153. Обнаружение силы, выталкивающей тело из газа

кислого 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 большая 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 вес погружённого в воду цилиндра уменьшился.

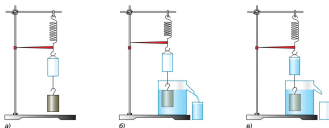


Рис. 154. Опыты с ведром Архимеда

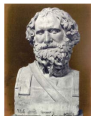
ся. Следовательно, на тело, погружённое в воду, наряду с силой тяжести действует сила, направленная вверх.

Вылившуюся в стакан воду перельём в ведро, не вынимая тела из отливного сосуда. Вода заполнит ведро доверху, а стрелка-указатель возвратится к первоначальному положению. 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.

Проделав аналогичный опыт с телом, погружённым в некоторый газ, можно убедиться, что на тело, находящееся в газе (воздухе), действует выталкивающая сила, равная весу газа в объёме тела.

Впервые эту закономерность установил древнегреческий учёный *Архимед*, поэтому её называют *зако-*



АРХИМЕД

(287—212 до н. э.)

Древнегреческий учёный, установил правило рычага, открыл закон гидростатики

ном Архимеда. Силу, выталкивающую тело из жидкости или газа, называют *архимедовой силой*.

Таким образом, архимедова сила равна весу жидкости в объёме части тела, погружённой в жидкость, т. е. $F_A = P_{\text{ж}} = m_{\text{ж}}g$. 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

$$F_A = \rho_{\text{ж}}V_{\text{п.ч}}g$$

$$F_A = \rho_{\text{ж}}V_{\text{п.ч}}g.$$

Из формулы следует, что архимедова сила тем больше, чем больше объём части тела, погружённой в жидкость, и плотность жидкости, в которую это тело погружено.

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 $P = mg$.

$$P_1 = P - F_A, \text{ или } P_1 = mg - m_{\text{ж}}g.$$

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.



Ведро Архимеда

Пример. Определите выталкивающую силу, действующую на тело объёмом 15 дм^3 , полностью погружённое в ртуть.

Запишем условие задачи и решим её.

| Дано: | СИ | Решение: |
|--|---------------------|---|
| $V_T = 15 \text{ дм}^3$ | $0,015 \text{ м}^3$ | $F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п.ч}} g,$ |
| $\rho_{\text{ж}} = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | | $F_A = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times$ |
| $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ | | $\times 0,015 \text{ м}^3 \times$ |
| $F_A = ?$ | | $\times 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} =$ |
| | | $= 2040 \text{ Н} \approx 2 \text{ кН}.$ |

Ответ: $F_A \approx 2 \text{ кН}.$



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?



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 перевесит?
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 большая выталкивающая сила?
- 5*. Одинаковая ли сила потребуется для того, чтобы удержать пустое ведро в воздухе или это же ведро, но наполненное водой, в воде? Ответ поясните.



ЗАДАНИЕ



- Измерьте выталкивающую силу, действующую на бидон с водой, когда он погружён в воду наполовину; целиком. Выясните зависимость выталкивающей силы от глубины погружения тела в жидкость.

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 фото-отчёт 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.

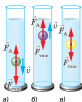


Рис. 156. Плавание тел:
 а — $F_{\text{тяж}} > F_A$, тело тонет;
 б — $F_{\text{тяж}} < F_A$, тело всплывает;
 в — $F_{\text{тяж}} = F_A$, тело плавает

Рассмотрим тело, которое сначала полностью погрузили в жидкость, а затем отпустили. На тело действуют две силы: вертикально вниз сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ и вертикально вверх архимедова сила F_A . Если $F_{\text{тяж}} \neq F_A$, то тело начнёт двигаться в сторону большей силы. Если же $F_{\text{тяж}} = F_A$, то тело будет находиться в равновесии внутри жидкости. Рассмотрим эти случаи подробнее.

1. Если сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ больше архимедовой силы F_A (рис. 156, а), то тело будет глубже погружаться в жидкость, тонуть, т. е. если

$F_{\text{тяж}} > F_A$, то тело тонет.

Зная, что сила тяжести $F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g$ и архимедова сила $F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{т}} g$, получим:

$$\rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g > \rho_{\text{ж}} V_{\text{т}} g,$$

следовательно, $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$.

Здесь $\rho_{\text{т}}$ — плотность вещества, из которого изготовлено тело, $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, $V_{\text{т}}$ — объём тела.

Таким образом, тело тонет, если плотность тела больше плотности жидкости $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$.

2. Если сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ меньше архимедовой силы F_A (рис. 156, б), то тело будет подниматься из жидкости, всплывать, т. е. если

$F_{\text{тяж}} < F_A$, то тело всплывает.

Значит, тело всплывает, если плотность тела меньше плотности жидкости $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$.

3. Если сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ равна архимедовой силе F_A (рис. 156, в), то тело может находиться в равновесии в любом месте жидкости, т. е. если

$F_{\text{тяж}} = F_A$, то тело плавает.

Если плавающее тело полностью погружено в жидкость, то

$$\rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g = \rho_{\text{ж}} V_{\text{т}} g,$$

следовательно, $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$.

Итак, тело плавает внутри жидкости, если *плотность тела равна плотности жидкости* $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$.

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, уравнивается архимедовой силой. Как результат — скелеты водных обитателей менее прочные, чем у обитателей 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).

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 на 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.

Вы слышали выражение: «Это только надводная часть айсберга»? Айсберг представляет собой глыбу льда, плавающую в океане. Так



Рис. 157. Погружение в жидкость тел различной плотности



Рис. 158. Вытеснение воды телом



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:

$$V = 1 \text{ м}^3$$

$$\rho_{\text{л}} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$V_{\text{п.ч}} = ?$$

Решение:

На льдину действуют сила тяжести $F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{л}} V g$ и архимедова сила $F_{\text{А}} = \rho_{\text{в}} V_{\text{п.ч}} g$.

Поскольку льдина плавает, то $F_{\text{тяж}} = F_{\text{А}}$.

Тогда

$$\rho_{\text{л}} V g = \rho_{\text{в}} V_{\text{п.ч}} g.$$

Отсюда

$$V_{\text{п.ч}} = \frac{\rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} V,$$

$$V_{\text{п.ч}} = \frac{900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \cdot 1 \text{ м}^3 = 0,9 \text{ м}^3.$$

Ответ: $V_{\text{п.ч}} = 0,9 \text{ м}^3$.



1. Назовите условия, при которых находящееся в жидкости тело тонет; плавает; всплывает. **2.** Опишите опыт, изображённый на рисунке 157. 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 позволит сделать?

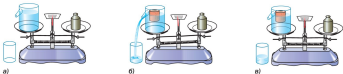


Рис. 159

2. Деревянная доска весом 100 Н плавает на поверхности пруда. Чему равна выталкивающая сила, действующая на доску?
3. 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?
4. Как в сосуде, содержащем керосин, расположатся три сплошных шарика: пробковый, парафиновый, стальной? Ответ обоснуйте. Сделайте рисунок. Изобразите графически силы, действующие на тела различной плотности, погружённые в жидкость.
5. Почему нельзя тушить горящий бензин, заливая его водой?
6. Плавающий на воде деревянный брусок вытесняет воду объёмом $0,72 \text{ м}^3$, а погружённый в воду целиком — $0,9 \text{ м}^3$. Определите выталкивающие силы, действующие на брусок в том и другом случае. Объясните, почему эти силы различны.
- 7*. Определите, какая часть объёма айсберга находится под водой.



Рис. 160



ЗАДАНИЕ

1. Для отделения зёрен ржи от лодовитых спор спорыньи смесь высыпает 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 явление.



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 сети Интернет описание этого прибора, изучите его историю. Изготовьте игрушку, объясните принцип её действия. Продемонстрируйте с её помощью условия плавания тел.

§ 49

ПЛАВАНИЕ СУДОВ. ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

Используя условия плавания тел, человек научился строить различные суда для перемещения по поверхности морей и океанов. Это и пироги 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, как правило, 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.



Плавание судов

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.

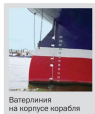
У судна есть важная характеристика — водоизмещение. *Водоизмещением называют вес воды, вытесненной судном при погружении до ватерлинии*. Согласно условию плавания тел, водоизмещение равно силе тяжести, действующей на судно с грузом.

Разность между водоизмещением и весом самого судна называют **грузоподъемностью** этого судна. Грузоподъемность 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_A будет больше силы тяжести $F_{\text{тяж}}$, т. е. $F_A > F_{\text{тяж}}$.

Плотность атмосферного воздуха уменьшается по мере удаления от поверхности земли. Поэтому при подъёме шара вверх действующая на него архимедова сила ($F_A = \rho Vg$) становится меньше. После того как она достигает значения $F_A = F_{\text{тяж}}$, 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 можно сде-



Ватерлиния
на корпусе корабля



Рис. 161.
Воздухоплавание:
а — стратостат;
б — дирижабль;
в — воздушные шары



Наполнение аэростата
тёплым воздухом

лать, 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. Поэтому начало развиваться самолётостроение. Самолёты перевозят людей, грузы, научную аппаратуру.

Вес груза, который может поднять воздушный шар, называют его **подъёмной силой**. Рассмотрим пример.

Предположим, в воздух запущен шар объёмом $V = 1 \text{ м}^3$, наполненный водородом. Плотность водорода $\rho_{\text{в}} = 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, плотность воздуха $\rho_{\text{возд}} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Масса водорода, заполняющего оболочку шара, будет равна $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}}V$, а его вес $P_{\text{в}} = m_{\text{в}}g = \rho_{\text{в}}Vg$;

$$P_{\text{в}} = 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1 \text{ м}^3 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 0,9 \text{ Н}.$$

Архимедова сила, действующая на этот шар в воздухе, равна весу воздуха объёмом 1 м^3 , т. е. $F_{\text{А}} = \rho_{\text{возд}}Vg$;

$$F_{\text{А}} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1 \text{ м}^3 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 13 \text{ Н}.$$

Отсюда вес груза, который может поднять этот шар, равен

$$F = F_{\text{А}} - P_{\text{в}}; F = 13 \text{ Н} - 0,9 \text{ Н} = 12,1 \text{ Н}.$$

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 $11,2 \text{ Н}$. 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, вертолёт, дельтаплан, движение скутера, катера на подводных крыльях, катание на водных лыжах возможны благодаря подъёмной силе крыла, с которой вы познакомитесь в старших классах.



Запуск небесных фонариков



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 изменится 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 лодку, $50\,000\text{ кН}$. Какой объём воды вытесняет эта лодка?
- 3*. Плот состоит из 12 сухих еловых брусьев. Длина каждого елового 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. Стеклопипетта 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

1. Изготовьте модель корабля или лодки. Для этого возьмите пластиковую бутылку с закрытой крышкой. Определите, какой максимальный груз может принять «на борт» ваш «корабль».

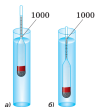


Рис. 164

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 сверху шкалы.

Используя пробирку и кусочки свинца, изготовьте ареометры для жидкостей, имеющих плотности большую 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.

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 эн-

циклопедии, 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 Лена 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 представления результата: 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 представления результата: презентация, викторина, изготовление прибора, макета (барометра), опыты).
4. «Выталкивающая сила» (изготовление модели, макета и объяснение принципов действия воздушного фонарика, воздушного змея).



§ 50

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ

$$A = Fs$$



Совершение работы
электровозом
по перемещению
вагонов поезда

Понаблюдаем за игрой теннисистов. Что они делают во время подачи, чтобы мяч с огромной скоростью (до $200 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$) 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*.

Механическая работа — это физическая величина, равная произведению силы на путь, который прошло тело под действием этой силы.

Работа обозначается буквой A , вычисляется по формуле

$$A = Fs,$$

где A — работа, F — сила и s — пройденный путь.

Формулу $A = Fs$ можно применять в том случае, когда сила постоянна и сонаправлена со скоростью движения тела.

Человек поднимает с земли камень на какую-то высоту. При этом совершается работа, поскольку под действием приложенной силы камень перемещается на определённое расстояние. Направления силы и движения камня



Совершение работы
при подъёме
гранитной плиты

совпадают. Чем тяжелее камень, тем большую силу надо прикладывать и тем больше будет совершённая работа. Можно один и тот же камень поднимать на разную высоту. Сила требуется для этого одна и та же, но работа будет совершаться разная. Чем больше высота поднятия камня, тем больше работа.

Понятие «работа» в физике отличается от его обыденного употребления. Рассмотрим, в чём состоит это различие. Человек пытается сдвинуть шкаф. Обыватель скажет, что человек устал, совершая работу. А физик отметит, что работа не совершается, так как под действием силы шкаф не перемещается. Для совершения работы необходимо, чтобы тело двигалось под действием силы.

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:

$$A = -F_{\text{тр}}s.$$

Если отсутствует движение тела под действием силы, то 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.

Единица работы в СИ — *джоуль* (Дж) — получила своё название в честь английского учёного *Джеймса Джоуля* (1818—1889).

1 Дж — это работа, которая совершается силой 1 Н на пути 1 м при движении тела вдоль направления этой силы.

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

$$1 \text{ Дж} = 10^3 \text{ мДж}$$

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

$$1 \text{ Дж} = 10^{-6} \text{ МДж}$$

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 необходимо совершить работу в миллиарды джоулей.

Широко применяются дольные и кратные единицы работы: *миллиджоуль (мДж)*, *килоджоуль (кДж)*, *мегаджоуль (МДж)*.

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

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

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

Пример. Определите работу, совершённую краном при равномерном подъёме тела массой 3 т на высоту 7 м.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$m = 3 \text{ т}$$

$$h = s = 7 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$A = ?$

СИ

$$3000 \text{ кг}$$

Решение:

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:

$$F_{\text{упр}} = mg,$$

$$F_{\text{упр}} = 3000 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 30\,000 \text{ Н}.$$

Найдём работу 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: $A = 210 \text{ кДж}$.



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?



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 $1500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



ЗАДАНИЕ



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 выбрасы-

вает 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 трусой к мышцам должно притекать в 10—12 раз больше крови. За 1 мин получается примерно 3 ведра. В течение жизни через наше сердце в состоянии покоя проходит 150—250 тыс. т крови.

Согласно данным 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.

§ 51

МОЩНОСТЬ. ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ



Мощность Свяно-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.

Физическую величину, которая характеризует быстроту совершения работы, называют **мощностью** (обозначают буквой N). Поэтому



Мощность, развиваемая тройной лошадью, достигает 1,91 кВт

$$\text{МОЩНОСТЬ} = \frac{\text{РАБОТА}}{\text{ВРЕМЯ}}$$

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

$$\begin{aligned} 1 \text{ Вт} &= 10^{-3} \text{ кВт} \\ 1 \text{ Вт} &= 10^{-6} \text{ МВт} \end{aligned}$$



При вспахивании поля трактор развивает мощность 81 л. с.

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.

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

Если за равные промежутки времени совершается одинаковая работа, то мощность постоянна. Во всех других случаях мощность не постоянна и тогда можно определить только среднюю мощность:

$$N_{\text{ср}} = \frac{A}{t}.$$

Мощность измеряется в **ваттах (Вт)**. Единица получила своё название в честь английского учёного **Джеймса Уатта** (1736—1819).

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

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

В технике широко используют более крупные единицы мощности — **киловатт (кВт)**, **мегаватт (МВт)**.

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт} = 10^3 \text{ Вт};$$

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

Кроме того, в быту и технике иногда пользуются ещё одной единицей мощности, которая называется **лошадиной силой (л. с.)**. Лошадиная сила равна приблизительно 735,5 Вт. Чаще всего её применяют для оценки мощности автомобильных двигателей.

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 «Артика» | 60 000 |

В описаниях технических устройств указывается их мощность, зная которую можно рассчитать работу, совершаемую за некоторый промежуток времени. Так как $N = \frac{A}{t}$, то

$$A = Nt.$$

Работа равна мощности, умноженной на время, в течение которого эта работа совершалась.

Пример. Мощность двигателя напольного вентилятора равна 55 Вт. Какую работу он совершает за 30 мин?

Запишем условие задачи и решим её.

| | | |
|----------------------|------------------|--|
| Дано: | СИ | Решение: |
| $N = 55 \text{ Вт}$ | | Работа, совершаемая двигателем, |
| $t = 30 \text{ мин}$ | 1800 с | $A = Nt$, |
| $A = ?$ | | $A = 55 \text{ Вт} \cdot 1800 \text{ с} =$ $= 99\,000 \text{ Дж} = 99 \text{ кДж}.$ |

Ответ: $A = 99 \text{ кДж}.$

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



Мощность двигателей вентиляторов лежит в интервале от 30 до 140 Вт

со скоростью $8,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ развивает мощность всего около 5 кВт, а при скорости $17 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ — 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. Докажите, что ватт — единица СИ. 4. Какие единицы мощности вам известны?



УПРАЖНЕНИЕ 33

1. Вспомните значение приставок «милли», «кило» и «мега». 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 совершит двигатель за 3 ч?
- 5*. Автомобиль равномерно движется со скоростью $40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 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



1. При подъёме тела массой m на высоту h совершается работа $A = mgh$, так как в среднем сила, необходимая для подъёма, равна mg , путь равен h . Если подъём осуществляется n раз, то работа $A = nmgh$. Руководствуясь этими соображениями, измерьте среднюю мощность, которую вы развиваете при двадцатикратном подъёме выбранного вами груза. Проведите измерения для грузов массой 1; 2; 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.
2. Определите, какую максимальную мощность вы можете развивать, совершая приседания; при равномерном подъёме груза.



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, результат действия силы зависит и от её значения, точки приложения и от направления. Простые механизмы дают возможность преобразовать (изменить) значение 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.

Простые механизмы люди использовали с давних времён. Так, с помощью рычагов три тысячи 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),

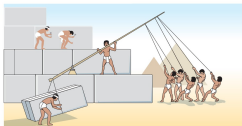
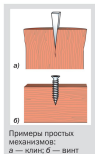


Рис. 166. Строительство пирамид

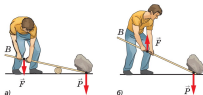


Рис. 167. Использование рычага для поднятия камня

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?

§ 53

РЫЧАГ. РАВНОВЕСИЕ СИЛ НА РЫЧАГЕ

Вам уже известно, что если на тело действуют две равные по модулю, но противоположно направленные силы, то они компенсируют друг друга. Во всех ли случаях это верно? Это верно для случая, когда силы направлены по одной прямой.



а)



б)

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 компенсируют 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.

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 уравнивается 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.

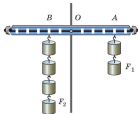


Рис. 170. Равновесие рычага с осью вращения

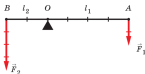


Рис. 171. Графическое изображение рычага с осью вращения

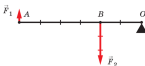


Рис. 172. Рычаг второго рода

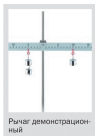
В этом опыте, схема которого приведена на рисунке 171, мы познакомились с рычагом.

Рычагом называют любое твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси или точки опоры.

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.

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**.



Рычаг демонстрационный

Расстояние от линии действия силы до оси вращения рычага называют **плечом силы**.

Расстояние между прямыми — это длина общего перпендикуляра к двум этим прямым.

На рисунках 171 и 172 плечами сил F_1 и F_2 являются соответственно расстояния $l_1 = OA$



Рычаг лабораторный

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).

Правило равновесия рычага было установлено Архимедом около 287—212 гг. до н. э. Согласно этому правилу, используя рычаг, можно меньшей силой уравновесить большую силу. Например, если одно плечо рычага в 2 раза больше другого (см. рис. 172), то приложенную в точке *B* силу 1000 Н можно уравновесить, приложив в точке *A* силу 500 Н.

С помощью рычага мы можем малой силой уравновесить силу большую. 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.

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.



Использование рычажного домкрата



1. Что называют рычагом? Приведите примеры рычагов. 2. Дайте определение плеча силы. 3. Составьте правило нахождения плеча силы. 4. Сформулируйте правило равновесия рычага.



Когда палку держат в руках за концы, то её трудно переломить. Если же середину палки положить на подставку, то переломить палку будет легче. Почему?



УПРАЖНЕНИЕ 34

- К концам рычага, находящегося в равновесии, приложены вертикальные силы 25 и 15 Н. Длинное плечо рычага равно 15 см. Какова длина короткого плеча?
- 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.
- 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. В результате 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 :

$$M = Fl.$$

Момент силы измеряется в **ньютон-метрах** (Н·м).

Момент силы равен 1 Н·м, если плечо силы 1 Н равно 1 м.

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.

Моментом силы характеризуют способность силы вращать тело. Вам хорошо известно, что результат действия силы зависит и от модуля силы, и от точки её приложения. Например, дверь тем легче повернуть, чем больше плечо силы, т. е. чем дальше от оси вращения приложена действующая на неё сила.



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 считать рычагом (рис. 174)?
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 находиться в равновесии (рис. 175)?

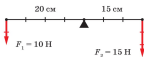


Рис. 173



Рис. 174

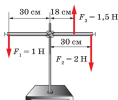


Рис. 175



ЗАДАНИЕ



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 остром карандаша. Проверьте, нарушится ли равновесие, если согнуть один из концов полоски. Обсудите почему.

§ 55

РЫЧАГИ В ТЕХНИКЕ, БЫТУ И ПРИРОДЕ

Оглянемся вокруг, посмотрим на различные приспособления и механизмы — внимательный взгляд обнаружит рычаги. Ножницы — два рычага на общей оси (рис. 177). Они дают выигрыш в силе. В этом случае ось вращения проходит через винт, соединяющий обе половины ножниц. 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 может быть различным (рис. 178, 179).



Рис. 177. Ножницы бытовые



Рис. 178. Ножницы для резки листового металла



Рис. 179. Кусачки



Рис. 180. Весы рычажные



Откручивание гайки ключом

Рычаг используется для определения массы тел. Рычажные весы (рис. 180) называют так потому, что их действие основано на правиле равновесия рычага.

Кисть вашей руки — 27 рычагов! Клавиша выключателя, дужка очков, гаечный ключ, отвёртка, колесо роликового конька, любое колесо — всё это примеры рычагов. Подъёмные краны, экскаваторы, плотины гидроэлектростанций проектируются и строятся с учётом условия равновесия для 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. 178 и 179) получают выигрыш в силе. **3.** Где в быту применяются рычаги?



Подумайте, при соблюдении какого условия твёрдое тело может выполнить роль рычага.

§ 56

ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛА РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА К БЛОКУ

Одной из разновидностей рычага является **блок**. Основной частью блока является колесо с желобом, через который пропускают верёвку или трос. Блоки бывают подвижные и неподвижные.



Рис. 181. Неподвижный блок



Рис. 182. Неподвижный блок как равноплечий рычаг



Рис. 183. Подвижный блок

Блок является *неподвижным*, если его ось неподвижно закреплена (рис. 181). При подъёме груза ось такого блока не движется.

Рассмотрим рисунок 182. На нём изображена схема неподвижного блока, красными стрелками показаны силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , которые действуют на концы верёвки блока. Сравнение этого рисунка со схемой рычага, изображённой на рисунке 171, показывает, что неподвижный блок можно рассматривать как равноплечий рычаг. Действительно, ось блока O аналогична точке опоры рычага. На рычаг действуют силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Плечи этих сил — расстояния OA и OB от оси блока O до точек приложения сил A и B . $OA = OB$, поэтому этот рычаг равноплечий.

Вам уже известно, что если плечи рычага равны, то он не даёт выигрыша в силе. Поэтому неподвижный блок не даёт выигрыша в силе, а только изменяет направление её действия.

Помимо неподвижного блока, широкое применение получил *подвижный блок* (рис. 183). Его ось может подниматься и опускаться вместе с грузом, так как она не закреплена. На рисунке 184 изображена схема подвижного блока, красными стрелками показаны действующие силы. Подвижный блок подобен рычагу с точкой опоры O , расположенной на его конце. Определим плечи действующих сил. Плечо силы F — отрезок OB , равный диаметру блока.



Рис. 184. Подвижный блок как рычаг с неравными плечами



Рис. 185. Комбинация подвижного и неподвижного блоков — полиспаст

Плечо силы P — отрезок OA , длина его равна радиусу блока. Поэтому 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 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



Рис. 186. Выигрываем в силе, но проигрываем в расстоянии

Вы познакомились с простыми механизмами: рычагом, наклонной плоскостью. Эти механизмы применяются для совершения работы, когда надо с помощью одной силы уравновесить другую силу.

Простые механизмы позволяют получить выигрыш в силе или в расстоянии. А могут ли они дать выигрыш и в работе? Для ответа на этот вопрос сделаем следующий опыт.

Рассмотрим рычаг первого рода (рис. 186). Для того чтобы он находился в равновесии, нужно подействовать на его короткую часть

большей силой F_1 , а на длинную — меньшей силой F_2 .

При повороте рычага точка приложения силы F_2 проходит больший путь, чем точка приложения силы F_1 : $s_2 > s_1$. 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

$$F_1 s_1 = F_2 s_2.$$

Вспомним, что работа силы есть произведение силы на путь, пройденный телом под действием этой силы. Тогда

$$s_1 F_1 = A_1,$$

$$s_2 F_2 = A_2.$$

Следовательно, для рычага $A_1 = A_2$, т. е. силы, приложенные к разным концам рычага, совершают одинаковые работы.

Значит, рычаг не даёт выигрыша в работе.

Получить выигрыш можно либо в силе, проиграв в расстоянии, либо в расстоянии, проиграв в силе. Практика показывает, что это относится ко всем механизмам. Ни один механизм не даёт выигрыша в работе.

Во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии.

Это правило называют **«золотым правилом» механики**.



1. Запишите соотношение между силами, действующими на рычаг, и плечами этих сил (см. рис. 170) при равновесии рычага.
2. В чём состоит «золотое правило» механики?
3. Объясните, почему рычаг не позволяет получить выигрыш в работе.



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?

§ 58

ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ ТЕЛА

Когда на тело действуют силы со стороны тросов, пружин и т. д., то положения точек приложения сил очевидны. Но что можно сказать о точке приложения силы тяжести? Особенностью этой силы является то, что она действует на каждый кусочек тела и как бы распределена по всему его объёму.

Разделим мысленно тело на большое число частей (рис. 187). На каждую часть действует сила тяжести, направленная вертикально вниз. Все эти силы можно заменить одной суммарной силой (равнодействующей сил тяжести) так, чтобы результат её действия был таким же, что и у сил тяжести, действующих на отдельные части тела. Для этого сила должна быть приложена к определённой точке, называемой **центром тяжести тела** — точке C (см. рис. 187).

При всевозможных перемещениях тела положение центра тяжести относительно тела остаётся неизменным (рис. 188). Его положение зависит от распределения вещества, а значит,



Рис. 187. Центр тяжести тела



Рис. 188. Направление действия силы тяжести

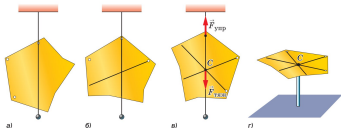


Рис. 189. Нахождение центра тяжести плоского тела неправильной формы



Рис. 190. Центр тяжести твёрдых тел

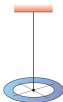


Рис. 191. Центр тяжести кольца

и массы по объёму тела. Именно поэтому только при изменении взаимного расположения частей тела его центр тяжести может сместиться.

Центр тяжести можно найти опытным путём. Рассмотрим, как это сделать, на примере плоского тела. Фигуру из картона будем подвешивать на нити в разных точках по краю вместе с отвесом (рис. 189). При равновесии фигуры действующие на неё сила тяжести и сила упругости направлены вдоль одной вертикальной прямой, отмеченной отвесом. Если в каждом положении фигуры проводить линию по отвесу, то все эти линии пересекутся в одной точке, которая и будет центром тяжести фигуры (рис. 189, а, б, в). Если теперь на острие карандаша поместить фигуру в её центре тяжести (рис. 189, г), то она будет находиться в равновесии.

Центр тяжести в однородных телах правильной формы совпадает с центром симметрии (рис. 190). Центр тяжести может находиться вне тела. Например, центр тяжести кольца находится на пересечении его диаметров (рис. 191).



1. Что называют центром тяжести? 2. Почему можно сделать вывод о том, что центр тяжести картонной фигуры (см. рис. 189, в) находится в точке пересечения линий отвеса? 3. Как экспериментально определить положение центра тяжести тела? 4. Может ли измениться положение центра тяжести тела? В каком случае?



УПРАЖНЕНИЕ 37

1. Стержень, на одном конце которого подвешен груз весом 120 Н, находится в равновесии в горизонтальном положении, если его подпереть на расстоянии $\frac{1}{5}$ длины стержня от груза. Чему равен вес стержня? Считать, что стержень однородный.
2. На столе перпендикулярно его краю лежит однородная линейка длиной 75 см. Часть линейки свешивается со стола. К этому концу линейки подвешен груз, масса которого в 2 раза больше массы линейки. Найдите длину свешивающейся части, если вся система находится в равновесии.



ЗАДАНИЕ



1. Из картона вырежьте фигуру неправильной формы. Определите её центр тяжести, используя отвес (нить с грузом).
2. Вырежьте из картона кольцо толщиной 2 см. Подтвердите на опыте, что его центр тяжести находится на пересечении диаметров.



§ 59

ВИДЫ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ

Пусть тело, имеющее закреплённую ось вращения или точку опоры, находится в равновесии. Тело можно вывести из положения равновесия. Как оно будет вести себя после этого? Вернётся в положение равновесия или нет?

Для ответа на этот вопрос поставим такой опыт. Повесим линейку вертикально, укрепив её за один из концов (рис. 192, а). Центр тяжести линейки находится в её геометрическом центре, поэтому в этом случае точка подвеса выше центра тяжести.

Отклоним линейку от вертикали на некоторый угол и отпустим. Сила тяжести будет стремиться вернуть линейку в первоначальное положение (см. рис. 192, а).

Такое равновесие называют **устойчивым**. При небольшом смещении тела из положения устойчивого равновесия тело вновь к нему возвращается.

Если центр тяжести тела находится на вертикали, проходящей через ось вращения, ниже оси, то равновесие является устойчивым.



Равновесие в природе

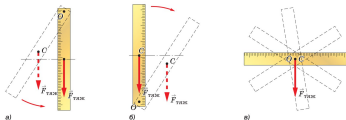


Рис. 192. Различные случаи равновесия линейки

В устойчивом равновесии находятся тела, висящие на нитях, цепях и т. п., например люстры.

Изменим положение оси вращения так, чтобы она была ниже центра тяжести, но находилась с ним на одной вертикали (рис. 192, б). Если линейку вывести из положения равновесия, то сила тяжести будет уводить её от этого положения всё дальше и дальше, и линейка в исходное положение больше не вернётся.

Такое равновесие называют **неустойчивым**. При неустойчивом равновесии тело, выведенное из положения равновесия, больше в него не возвращается.

Если центр тяжести тела находится выше оси вращения, на вертикали, проходящей через ось, то равновесие является неустойчивым.

Так, в неустойчивом равновесии находятся канатоходцы, балансирующие на канате.

Подвесим линейку так, чтобы ось вращения проходила через её центр тяжести (рис. 192, в). Расположим линейку горизонтально. Она будет находиться в состоянии покоя, или равновесия. Выведем линейку из этого положения, подтолкнув один её край, например, вверх. Линейка повернётся и вновь остановится. Это будет опять положение равновесия.

Такое равновесие называют **безразличным**. При отклонении или перемещении тела,

находящегося в безразличном равновесии, оно остаётся в равновесии.

Если ось вращения тела проходит через центр тяжести, то равновесие является безразличным.

Колёса автомобилей, велосипедов, самокатов, вращающиеся симметричные части машин — примеры тел, находящихся в безразличном равновесии.

Таким образом, существует три вида равновесия: устойчивое, неустойчивое, безразличное.

Изучим теперь, как движется центр тяжести тела при выведении его из равновесия, рассмотрим описанный опыт с линейкой. Если тело вывести из положения устойчивого равновесия, то его центр тяжести поднимется (см. рис. 192, а). Если тело вывести из неустойчивого равновесия, то его центр тяжести опустится (см. рис. 192, б). При выведении тела из безразличного равновесия положение его центра тяжести не меняется (см. рис. 192, в).

Справедливость этих закономерностей можно подтвердить и на опытах с шариками (рис. 193), находящимися в устойчивом, неустойчивом и безразличном равновесии.

Мы рассмотрели равновесие тел, имеющих закреплённую ось вращения или точку опоры. Большинство предметов, окружающих нас, опирается на некоторую площадь. Например, дома, автомобили, станки и т. д. Рассмотрим условия равновесия тел, имеющих опоры.

Выясним, при каких условиях призма будет находиться в устойчивом и неустойчивом равновесии. Будем изменять форму призмы, к центру тяжести которой прикреплён отвес, и наблюдать за положением отвеса. Опыт показывает, что если линия отвеса проходит через опору, то равновесие призмы устойчивое. Если линия отвеса оказывается на границе опоры, то призма переходит в неустойчивое равновесие (рис. 194, б). А при выходе линии отвеса за границы опоры призма опрокидывается.

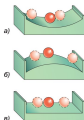


Рис. 193. Виды равновесия шара на опоре:
а — устойчивое;
б — неустойчивое;
в — безразличное



Рис. 194. Равновесие призмы на шарнирах:
а — устойчивое;
б — неустойчивое

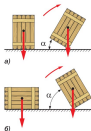


Рис. 195. Зависимость устойчивости положения тела от угла поворота

Судить о том, насколько устойчиво равновесие тела, стоящего на горизонтальной поверхности, можно по углу наклона тела, при котором оно ещё не опрокидывается. Рассмотрим тело, изображённое на рисунке 195. Чтобы тело заняло положение неустойчивого равновесия, его нужно отклонить от горизонтальной поверхности. При этом тело будет опираться на одно ребро. Чем меньше угол α , на который нужно отклонить тело, чтобы оно перешло в положение неустойчивого равновесия (см. рис. 195), тем проще его вывести из первоначального устойчивого равновесия. Конкретное значение угла α определяется положением центра тяжести тела и площадью опоры. Чем больше площадь опоры и чем ниже расположен центр тяжести, тем устойчивее равновесие тела.



1. Какие виды равновесия вы знаете? **2.** Как устойчивость равновесия связана с положением центра тяжести тела? **3.** При каком условии тело, имеющее площадь опоры, будет находиться в устойчивом равновесии; упадёт? **4.** Приведите примеры тел, находящихся в равновесии. Поясните, какое это равновесие.



Продолжает ли линия отвеса проходить через центр тяжести конструкции (см. рис. 194) при изменении её формы? Почему?

§ 60

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_z , а работу, совершаемую с помощью механизма, — *полезной работой* $A_{\text{п}}$. 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.

$$A_{\text{п}} < A_{\text{з}}, \text{ или } \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} < 1.$$

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. Из определения следует, что $\text{КПД} < 1$. Часто его выражают в процентах (%):

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\%.$$

КПД любого механизма меньше 100%. Конструируя механизмы, стремятся сделать так, чтобы их КПД был как можно ближе к 100%.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\%$$

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 этой наклонной плоскости.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$h = 1,2 \text{ м}$$

$$l = 12 \text{ м}$$

$$P = 2000 \text{ Н}$$

$$F = 250 \text{ Н}$$

$$\eta = ?$$

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: $A_{\text{з}} = Fl$.

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?



При подъёме грузов используется как наклонная плоскость, так и наклонный транспортёр — лента, движущаяся по роликам. Какой из этих механизмов имеет больший КПД? Почему?



УПРАЖНЕНИЕ 38

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 вдоль 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%.



Рис. 196. Совершение работы сжатой пружиной при её распрямлении

С понятием работы тесно связано важнейшее понятие физики — *энергия* (в пер. с греч. «действие, деятельность»). Если тело может совершить работу, то говорят, что оно обладает энергией.

Рассмотрим примеры тел, обладающих энергией. Сжатая пружина обладает энергией, так как, распрямляясь, она может совершить работу, например поднять на высоту груз (рис. 196).

Обладает энергией и поднятый над землёй неподвижный груз, потому что если этот груз упадёт, то он совершит работу (например, может забить в землю сваю).

У любого движущегося тела есть энергия, так как такое тело может совершить работу. Рассмотрим стальной шарик *A*, скатывающийся с наклонной плоскости (рис. 197). Ударившись о деревянный брусок *B*, шарик передвигает брусок на некоторое расстояние. При этом совершается работа.

Энергия — физическая величина. Чем большую 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.

Вода, приводящая в движение гидротурбину, обладает энергией, так как она совершает

работу, вращая колесо турбины. Сжатый воздух также обладает энергией, он может совершить работу, открывая или закрывая двери автобуса. Закрученная пружина часов имеет энергию, которая расходуется при выполнении работы по перемещению стрелок. Ле-

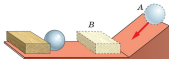


Рис. 197. Совершение работы шариком, скатывающимся по наклонной плоскости

тящая пуля обладает энергией, так как она способна совершить работу, пробивая деревянную стену. Существует много различных форм энергии (механическая, внутренняя, электрическая, атомная и др.).



1. Что такое энергия? 2. В каких единицах измеряется энергия? Почему единицы энергии и работы одинаковы? 3. Как экспериментально определить, обладает ли тело энергией?

§ 62

КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

В механике изучают механическую энергию. Существует два вида механической энергии: *кинетическая* и *потенциальная*.

Кинетическая энергия — это энергия, которой обладает тело вследствие своего движения.

Понять, от чего зависит кинетическая энергия тела, можно, поставив эксперимент, аналогичный изображённому на рисунке 197. Опыт показывает, что чем с большей высоты скатывается шарик (чем больше его скорость у подножия наклонной плоскости), тем дальше передвигается брусок. Чем дальше передвигается брусок, тем больше совершённая работа и, следовательно, тем большей кинетической энергией обладал шарик в момент столкновения. 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 большая работа. Следовательно, кинетическая энергия тела зависит от его массы. **Чем больше масса тела, тем больше его кинетическая энергия.**

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

Для того чтобы определить кинетическую энергию тела, применяют формулу:

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

где E_k — кинетическая энергия, m — масса тела, v — его скорость движения.

В результате работы, совершаемой движущимся телом, его кинетическая энергия уменьшается. *Работа равна изменению кинетической энергии.*

Кинетическая энергия характеризует способность тела совершить работу. Например, молоток, ударяясь о гвоздь, совершает работу. В результате гвоздь входит в стену, а кинетическая энергия молотка уменьшается. Чем больше скорость перед ударом, тем глубже забьётся гвоздь, тем большая работа будет совершена. При одной и той же скорости молоток с большей массой совершит большую работу (глубже забьёт гвоздь). Пуля, пробивая доску, совершает работу. При этом её скорость, а значит, её кинетическая энергия уменьшается.

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_p .



Получение электрической энергии за счёт кинетической энергии воды на гидроэлектростанции

Потенциальная энергия — это энергия, которой обладает тело вследствие взаимодействия с другими телами или вследствие взаимодействия его частей друг с другом.

Потенциальная энергия определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.

Деформированная пружина обладает именно потенциальной энергией, так как пружина в целом не двигается. Её энергия зависит от взаимного положения витков. *Потенциальной энергией обладает всякое упруго деформированное тело.*



Рис. 198. Машина для забивания свай

Потенциальной энергией обладает и тело, поднятое над землёй (рис. 198). Действительно, если такое тело отпустить, то, падая, оно сможет передвинуть другое тело. Значит, может совершить работу. Чем выше над землёй поднято тело, тем большую 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: $E_{\text{п}} = A$.

По определению работы она равна произведению силы F на путь h , следовательно,

$$A = Fh.$$

$$E_{\text{п}} = mgh$$

В этом случае путь равен высоте тела над землёй. Так как сила тяжести $F_{\text{тяж}} = mg$, то

$$E_{\text{п}} = F_{\text{тяж}} h \quad \text{и} \quad E_{\text{п}} = mgh,$$

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

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.



1. Какие виды энергии вам известны? Чем они отличаются друг от друга?
2. Приведите примеры тел, обладающих кинетической энергией. Как кинетическую энергию уменьшить до нуля?
3. Где используют кинетическую энергию ветра?
4. Какие тела обладают потенциальной энергией?
5. Почему потенциальная энергия зависит от взаимного положения тел или частей тела?
6. Как экспериментально

доказать, что тело, поднятое над землёй, обладает потенциальной энергией? 7. Почему потенциальная энергия не изменяется при движении тела по горизонтали?



На одной и той же высоте находятся кусок мрамора и кусок свинца одинакового объёма. Какое из этих тел обладает большей потенциальной энергией?



УПРАЖНЕНИЕ 39

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 его кинетическая энергия, если скорость изменится вдвое?
5. Какую работу должен совершить человек, чтобы его кинетическая энергия изменилась на 50 Дж?
6. Автомобиль при разгоне изменил скорость от 36 до $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Какая работа была совершена, если масса автомобиля 2000 кг?
7. Два шара массами m и $2m$ подняли на высоту $2h$ и h соответственно. Сравните их потенциальные энергии. Сделайте вывод.



ЗАДАНИЕ



1. Проверьте зависимость кинетической энергии тела от его скорости и массы. Для этого возьмите линейку, деревянный брусок, ластик, стальной и пластмассовый цилиндры. На брусок положите линейку, чтобы получить наклонную плоскость. Вместо бруска можно положить стопку книг. У основания наклонной плоскости положите ластик на расстоянии примерно 2 см (рис. 199). С вершины наклонной плоскости спускайте металлический цилиндр (в качестве металлического цилиндра можно взять металлическую ручку). Спуская ручку с верхнего конца наклонной плоскости и с середины, тем самым меняя скорость ручки при ударе о ластик, посмотрите, в каком случае ручка производит большую работу по перемещению ластика. Замените металлическую ручку на пластмассовую, сделайте опыт снова. Сравните работу пластмассовой ручки с работой металлической ручки. Сделайте вывод о зависимости кинетической энергии от массы тела и его скорости.



Рис. 199



2. Определите изменение потенциальной энергии вашего тела при подъёме с первого этажа на второй.

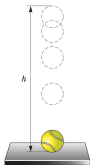


Рис. 200. Превращение потенциальной энергии мяча в кинетическую при его падении



Превращение энергии при падении камня

Очень часто тело обладает и кинетической, и потенциальной энергией. Может ли измениться энергия тела при его движении? Что происходит с механической энергией тел? Как изменяется их кинетическая и потенциальная энергия?

Рассмотрим опыт, изображённый на рисунке 200. Поднимем теннисный мячик на некоторую высоту над полом и отпустим его. Когда мячик был на высоте h , он обладал потенциальной энергией $E_{\text{п}} = mgh$. Эта энергия именно потенциальная, так как она является энергией взаимодействия мячика с Землёй и зависит от взаимного положения тел.

Выпустим мячик из рук. Благодаря притяжению к Земле мячик будет двигаться вниз. Его высота начнёт уменьшаться. Поэтому и потенциальная энергия мяча тоже уменьшится. Значит ли это, что энергия исчезает? Нет, так как скорость мяча в процессе падения увеличивается. Значит, его кинетическая энергия будет увеличиваться. Так потенциальная энергия переходит в кинетическую.

Максимального значения кинетическая энергия достигнет в момент падения мяча на пол. В это же мгновение высота мяча h , а значит, и его потенциальная энергия станут равными нулю. Вся потенциальная энергия перешла в кинетическую.

При ударе мяча о пол происходит деформация как мяча, так и пола. Кинетическая энергия мяча переходит в потенциальную энергию деформированных мяча и пола. В результате действия упругих сил мяч и пол примут свою первоначальную форму, мяч отскочит от пола. Потенциальная энергия вновь перейдёт в кинетическую.



Рис. 201. Маятник Максвелла



Передача мячу кинетической энергии движущейся ноги

Мяч, отскочив от пола, станет подниматься вверх и замедляться. Его кинетическая энергия будет уменьшаться, а потенциальная увеличиваться. Кинетическая энергия снова перейдёт в потенциальную.

Итак, рассмотренный опыт с теннисным мячом 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. 201).

Превращением энергии одного вида в другие сопровождаются практически все явления природы.

Кроме превращения энергии из одного вида в другой, происходит также передача энергии от одного тела к другому. Например, при ударе футболиста по мячу кинетическая энергия движущейся ноги передаётся мячу, начинающему движение. А при выстреле из игрушечного пружинного пистолета потенциальная энергия сжатой пружины переходит в кинетическую энергию вылетающего из ствола шарика.



1. Может ли тело одновременно обладать и кинетической, и потенциальной энергией? Приведите примеры. **2.** Какие превращения энергии происходят при ударе теннисного мяча о пол? **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.



Что, по вашему мнению, вносит наибольший вклад в энергию вылетающей стрелы — корпус лука или тетива?



ЗАДАНИЕ

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?

Механическая работа, мощность, простые механизмы, коэффициент полезного действия... Надеемся, что эти слова перестали быть для вас непонятными и сложными. Вы сможете 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 они изучали на уроке физики простые механизмы. Работая гвоздодёром, Тимофей держал инструмент за самый конец рукоятки на весу, опираться гвоздодёром на качели он не счёл нужным. Увидев, что Тимофей не может выдернуть гвоздь, Павел Петрович дал ему гвоздодёр с более длинной рукояткой. Однако у мальчика опять ничего не получилось. Нарисуйте графическую 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 даже небольшим 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 подниму Землю» (возможная форма: презентация, опыты, фотоальбом, викторина).



№ 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 и заполните таблицу 7.

Таблица 7

| | |
|------------------------------------|--|
| Цена деления шкалы, мл | |
| Верхний предел измерения шкалы, мл | |
| Нижний предел измерения шкалы, 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 (из-за смачивания 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).

- Определите вместимость других сосудов, которые находятся на вашем столе.
- Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы измерительного цилиндра, запишите в таблицу 8. Обратите внимание, что в таблицу результаты записываются в см^3 , поэтому не забудьте учесть соотношение между мл и см^3 .

Таблица 8

| № опыта | Название* сосуда | Объём жидкости $V_{ж} \pm \Delta V, \text{см}^3$ | Вместимость* сосуда $V_{с} \pm \Delta V, \text{см}^3$ |
|---------|------------------|--|---|
| | | | |

* Для опыта 1 (п. 2) не заполняется.

- Сделайте вывод.
Цена деления 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

- Вычислите диаметр одной горошины. Для этого положите вплотную к линейке 20—30 горошин в ряд. Измерьте длину l ряда, разделите l на число N горошин в ряду.
- Обработка результатов измерений.** Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности измерения записывайте в таблицу 9. Абсолютная погрешность измерения длины ряда равна цене деления 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 (молекула) | | | На фотографии | Истинный размер |
| | | | | |



Золото (Au) \longrightarrow 1 см

Рис. 202

- Определите способом рядов размер крупинки пшена (бисеринки).
- Определите способом рядов диаметр молекулы золота по фотографии (рис. 202, увеличение 5 миллионов).
- Покажите на числовой оси для каждого опыта полученный интервал возможных значений диаметра малого тела.
- Сделайте вывод.

№ 3

ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА

Цель работы Измерить массу тела с помощью весов.

Приборы и материалы Весы рычажные с набором разновесов, электронные весы, несколько небольших тел разной массы.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

- Измерьте массу предложенных тел с помощью рычажных весов (см. примечание 1). На левую чашу весов осторожно положите взвешиваемое тело. На правую чашу поставьте гири, начиная с большей. Методом подбора

добейтесь равновесия весов (см. примечание 2). 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. Мелкие гири нужно брать пинцетом (рис. 203), крупные — бумажкой.



Рис. 203

2. **Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности запишите в таблицу 10. Абсолютную погрешность измерений считайте равной массе наименьшего разновеса на чаше весов.

Таблица 10

| № 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 по результатам многократных измерений по формуле:

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}.$$

Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности (указана в паспорте весов) и вычислений запишите в таблицу 11. О том, как определить погрешность $\Delta m_{\text{ср}}$, узнайте у учителя.

Таблица 11

| Название тела | $m_1 \pm \Delta m$, г | $m_2 \pm \Delta m$, г | $m_3 \pm \Delta m$, г | $m_{\text{ср}} \pm \Delta m_{\text{ср}}$, г |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|
| | | | | |

- 5*. Покажите на числовой оси интервал возможных значений массы для каждого опыта.
6. Сравните результаты измерений на рычажных и электронных весах. Сделайте вывод, в каком случае произвести 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.

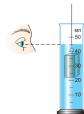


Рис. 204

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. 204), 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 измерительного цилиндра, запишите в таблицу 12. Учтите, что абсолютная погрешность ΔV измерения объёма тела будет складываться из погрешности ΔV_1 измерения начального объёма и погрешности ΔV_2 из-

мерения объёма воды и тела. Результаты расчёта объёма тела (части тела) запишите без учёта погрешности.

Таблица 12

| № 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 |
|---------|---------------------------|--|--|---|---|
| | | | | | |

- Погрузите брусок в воду наполовину, измерьте объём погружённой части бруска таким же способом, как вы это делали в п. 2, 3.
- Рассчитайте объём погружённой в воду части бруска, предварительно измерив высоту погружённой части.
- Сравните полученные результаты. Сделайте вывод о возможности измерения объёма твёрдого тела с помощью измерительного цилиндра.
- Измерьте объём других имеющихся у вас тел описанным в п. 2, 3 способом.



Рис. 205

Дополнительное задание

Если тело неправильной формы не входит в измерительный цилиндр, то его объём можно определить с помощью отливного сосуда (рис. 205). Предложите способ измерения объёма твёрдого тела в этом случае.

№ 5

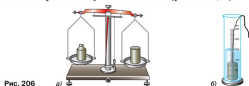
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА

Цель работы Определить плотность вещества твёрдого тела с помощью весов и измерительного цилиндра.

Приборы и материалы Весы с набором разновесов, измерительный цилиндр, твёрдое тело неизвестной плотности, нитка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Измерьте массу тела на весах (рис. 206, а).



2. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений с учётом абсолютной погрешности и вычислений запишите в таблицу 13.

Таблица 13

| 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. 206, б).
4. Рассчитайте по формуле $\rho = \frac{m}{V}$ плотность вещества, из которого сделано тело. По таблице 3 определите вещество, из которого может быть сделано данное тело.

№ 6

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ УПРУГОСТИ

Цель работы Проверить справедливость гипотезы «Сила упругости прямо пропорциональна удлинению пружины».

Приборы и материалы Штатив с муфтой и лапкой, спиральная пружина, набор грузов массой по 100 г, линейка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Закрепите в лапке штатива конец пружины и линейку так, чтобы пружина была параллельна линейке.

2. Определите длину пружины в ненагруженном состоянии.
3. Подвешивая к пружине последовательно один груз, два, три, четыре, определите удлинение пружины $x = l - l_0$ для каждого случая.

Примечание Сила упругости пружины будет равна силе тяжести груза, подвешенного к пружине (тело находится в равновесии под действием двух сил, значит, эти силы равны по модулю и направлены в противоположные стороны).

4. **Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерений запишите в таблицу 14 с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления линейки. Учтите, 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 14

| Начальная длина пружины $l_0 \pm \Delta l_0$, см | Сила упругости пружины $F_{\text{упр}}$, Н | Длина нагруженной пружины $l \pm \Delta l$, см | Удлинение $x \pm \Delta x$, см | Отношение сил упругости и удлинений | |
|---|---|---|---------------------------------|---|---------------------------|
| | | | | $\frac{F_{\text{упр. 2, 3, 4}}}{F_{\text{упр. 1}}}$ | $\frac{x_{2, 3, 4}}{x_1}$ |
| | | | | | |

5. Найдите отношение удлинения пружины для двух, трёх, 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.

Динамометр, шкала которого закрыта бумагой (пружина на планшете с миллиметровой шкалой из набора ОГЭ-лаборатории), набор грузов массой по 100 г, штатив с муфтой и лапкой, линейка, груз неизвестной массы.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



Рис. 207

1. Укрепите динамометр с закрытой шкалой в лапке штатива вертикально. Отметьте на бумаге штрихом начальное положение указателя — это будет нулевая отметка шкалы.
2. Подвесьте к крючку динамометра последовательно один груз, масса которого 100 г, два, три, четыре груза (рис. 207). 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, поставив 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 тела неизвестной массы, например лапки штатива, груза.
6. **Обработка результатов прямых измерений.** Запишите показания динамометра для каждого случая с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы динамометра.

№ 8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТРЕНИЯ
СКОЛЬЖЕНИЯ ОТ ПЛОЩАДИ СОПРИКОСНОВЕНИЯ
ТЕЛ И ПРИЖИМАЮЩЕЙ СИЛЫ**

Цель работы Исследовать зависимость силы трения скольжения от площади соприкосновения тел и прижимающей силы.

Приборы и материалы Динамометр, деревянный брусок, набор грузов массой 100 г, деревянная доска.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Определите вес бруска.
2. **Обработка результатов прямых измерений.** Записывайте в таблицу 15 показания динамометра с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы динамометра.

Таблица 15

| № опыта | Сила трения $F_{\text{тр}} \pm \Delta F$, Н | | Вес тела $P \pm \Delta P$, Н |
|---------|--|---------------|-------------------------------|
| | Большая грань | Меньшая грань | |
| | | | |

3. Положите брусок на деревянную поверхность стола 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.
4. Положите брусок на стол 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 интервалы возможных значений веса тела.
7. 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.

Динамометр, штатив с муфтой и лапкой, нить, два тела разного объёма, стаканы с водой и насыщенным раствором поваренной соли в воде.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Укрепите динамометр на штативе и подвесьте к нему на нити тело. Снимите показание динамометра, определив вес тела в воздухе P_{V_1} .
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. **Обработка результатов измерений.** Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности запишите в таблицу 16. Абсолютная погрешность ΔP измерения веса тела равна цене деления шкалы динамометра.

Таблица 16

| 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_{V_1} | P_{V_2} | P_{1V_1} | P_{1V_2} | F_{V_1} | F_{V_2} |
| Вода | | | | | | |
| Насыщенный раствор соли в воде | | | | | | |

4. По полученным данным вычислите выталкивающую силу, действующую на тело $F = P_{V_1} - P_{1V_1}$.
5. Определите выталкивающую силу, действующую на то же тело в насыщенном растворе поваренной соли.
6. Повторите п. 2—4 для тела другого объёма и определите указанным способом (см. п. 2 и 3) выталкивающую силу, действующую на него в воде и в насыщенном растворе поваренной соли.
7. Покажите на числовой оси интервал возможных значений выталкивающей силы.
8. Проанализируйте результаты лабораторной работы и сделайте выводы.

Цель работы Исследовать явление плавания тел в жидкости.

Приборы и материалы Весы с набором разновесов, измерительный цилиндр, пробирка (аптечный пузырёк) с пробкой, проволоочный крючок, сухой песок, фильтровальная бумага или сухая тряпка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ


Рис. 208

1. Регулируя с помощью песка степень погружения пробирки в воду (рис. 208), добейтесь частичного погружения пробирки, полного погружения, опускания пробирки на дно сосуда.
2. Для каждого случая определите массу пробирки с песком и силу тяжести $F_{\text{тяж}} = mg$.

Примечание Перед тем как положить на весы пробирку с песком, протрите её фильтровальной бумагой или тряпкой.

3. **Обработка результатов измерений.** Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 17. Отметьте, когда пробирка плавает и когда тонет или всплывает.

Таблица 17

| № опыта | Сила тяжести пробирки с песком $F_{\text{тяж}}$, Н | Выталкивающая сила, действующая на пробирку F_A , Н | Поведение пробирки в воде (плавает или тонет) |
|---------|---|---|---|
| | | | |

4. Для каждого случая определите объём вытесненной воды и рассчитайте выталкивающую силу $F_A = \rho_{\text{ж}} Vg$.
5. Сделайте вывод об условии плавания тела в жидкости.

Цель работы Проверить на опыте условие равновесия рычага и правило моментов.

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 данные измерений и вычислений в таблицу 18 без учёта погрешностей.

Таблица 18

| № опыта | Сила F_1 на левой части рычага, Н | Плечо l_1 , см | Сила F_2 на правой части рычага, Н | Плечо l_2 , 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. Для этого подвесьте два груза справа от оси вращения рычага на расстоянии 5 см.

С помощью динамометра определите, какую силу и как нужно приложить на расстоянии 20 см от оси вращения правее грузов, чтобы удерживать рычаг в равновесии.

Запишите результаты измерений и вычислений в таблицу, которую составьте самостоятельно по аналогии с таблицей 18, и сделайте соответствующий вывод для этого случая.

Цель работы Определить коэффициент полезного действия (КПД) наклонной плоскости. Проверить гипотезу: КПД простого механизма меньше 100% (на примере наклонной плоскости).

Приборы и материалы Доска, динамометр, измерительная лента или линейка, брусок, штатив с муфтой и лапкой.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Определите с помощью динамометра вес P бруска.
2. **Обработка результатов измерений.** Результаты измерений и вычислений записывайте в таблицу 19 без учёта погрешности.

Таблица 19

| h , м | P , Н | A_n , Дж | s , м | F , Н | A_o , Дж | η , % |
|---------|---------|------------|---------|---------|------------|------------|
| | | | | | | |

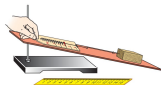


Рис. 209

3. Соберите установку по рисунку 209.
4. Измерьте высоту h наклонной плоскости. Вычислите полезную работу по формуле $A_n = Ph$.
5. Перемещайте брусок с постоянной скоростью вверх по наклонной доске, прикладывая силу вдоль доски.
6. Измерьте с помощью линейки путь s , который проделал брусок.
7. Измерьте силу тяги F .
8. Вычислите затраченную работу по подъёму бруска по формуле $A_o = Fs$.
9. Определите КПД наклонной плоскости: $\eta = \frac{A_n}{A_o} \cdot 100\%$.
10. Проанализируйте результаты и сделайте вывод.

Задачи для повторения



ФИЗИКА И ЕЁ РОЛЬ В ПОЗНАНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

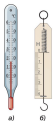


Рис. 210

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 шкал измерительных приборов (рис. 210).
4. Измерьте длину, ширину и толщину вашего учебника по физике. 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. Лёд и вода находятся при температуре 0°C . Что можно сказать о расстояниях между молекулами?

12. Вода испарилась. Изменились ли при этом её молекулы? Изменилось ли расстояние между молекулами?
13. Вокруг гвоздя, забитого в доску, появляется красноватый налёт. Объясните явление.
14. Почему не рекомендуется мокрую ткань, окрашенную в тёмный цвет, оставлять на длительное время в соприкосновении с белой тканью?
15. Почему в горячей воде сахар растворяется быстрее, чем в холодной?
16. Какие опыты указывают на то, что между молекулами существует взаимное притяжение?
17. Люди научились обрабатывать бронзу раньше, чем железо. Попробуйте объяснить, почему так произошло, с точки зрения молекулярного строения этих веществ.
18. Почему трудно снять мокрые перчатки?
19. Водяной пар и вода находятся при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Что можно сказать о расстояниях между молекулами? Что можно сказать о взаимодействии молекул пара и воды?
20. Может ли медь быть жидкой, а ртуть твёрдой? Ответ поясните.
21. Почему объём газов при сжатии изменяется значительно больше, чем объём жидкостей и твёрдых тел (при одинаковых условиях)?

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

22. Пассажир едет в электричке. Относительно каких тел он находится: в покое; в движении?
23. Как определить, какая из двух противоположно стоящих электричек начала движение?
24. Последняя ступень второй советской космической ракеты имела скорость $11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Выразите эту скорость в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$.
25. Гири часов опустилась за сутки на 120 см. Вычислите скорость движения гири в $\frac{\text{см}}{\text{ч}}$.
26. Какова скорость велосипедиста, если за 10 мин он проезжает 1,2 км?

27. 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.
28. За 5 ч 30 мин велосипедист проехал путь 100 км. С какой средней скоростью (в $\frac{\text{м}}{\text{с}}$) двигался велосипедист?
29. Бегун пробежал стометровку 5 раз. Какой путь он пробежал?
30. За 1 с Земля относительно Солнца проходит путь 30 км. Какой приблизительно путь проделываете вы вместе с Землёй за 20 с?
31. 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).
32. В течение 16 мин поезд двигался равномерно со скоростью $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Какое расстояние прошёл поезд?
33. Сколько времени займёт перелёт из Москвы в Минск, если расстояние между городами 600 км, а самолёт летит со скоростью $80 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?
34. Может ли спортсмен, пробегающий 100 м за 10 с, обогнать велосипедиста, едущего со скоростью $18 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?
35. Трактор за первые 5 мин проехал 600 м. Какой путь проедет трактор за 0,5 ч, двигаясь с той же скоростью?
36. По графику зависимости пути от времени $s(t)$ (рис. 211) определите скорость тела (в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$) в промежутке времени от 0 до 2 ч и от 3 до 5 ч. Сравните полученные значения. Сделайте вывод.



Рис. 211

37. С помощью графика (см. рис. 211) определите, какой путь пройдёт тело за 3 ч.
38. Постройте график зависимости пути от времени $s = vt$ по данным таблицы. Определите скорость движения тела.

| $t, \text{с}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|---|----|-----|-----|-----|
| $s, \text{м}$ | 0 | 72 | 144 | 216 | 288 |

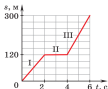


Рис. 212

39. Датчик движения показал следующий график движения пешехода (рис. 212). Охарактеризуйте движение на каждом участке. Опишите ситуацию, в которой пешеход мог так двигаться.

40. Постройте графики зависимости пути от времени для тел, одно из которых движется с постоянной скоростью $7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а второе — $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Каков путь тела I за 2 с; тела II за 4 с?

41. 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 тела от времени.



Рис. 213

42. Какой путь прошло бы тело за 30 с, если бы его скорость изменялась так, как показано на графике (рис. 213)? Почему скорость реального тела так изменяться не может?

43. Тело начало движение из состояния покоя, через 5 с его скорость достигла $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите ускорение движения тела.

44. Начальная скорость тела $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через 10 с после начала движения она стала равна $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите ускорение движения тела.

45. 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.

46. Самолёт начинает движение на взлётной полосе с ускорением $3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Чему равна скорость самолёта через 10 с?



Рис. 214



Рис. 215

47. Сравните движение двух тел, используя графики (рис. 214). Определите ускорения этих тел.

48. Даны графики зависимости скорости от времени двух тел (рис. 215).

- 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?

49. Постройте графики зависимости скорости от времени для трёх тел: $v_{01} = 0$, $a_1 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $v_{02} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $a_2 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $v_{03} = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $a_3 = 0$.

- 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?

50. Тело движется с ускорением $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Постройте графики зависимости $a(t)$ и $v(t)$. Начальная скорость тела $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

51. При езде на велосипеде без заднего крыла грязь с колеса попадает на спину велосипедиста. Как получается, что комочки грязи могут догнать велосипедиста?

52. Почему при прополке сорняки нельзя выдёргивать из земли рывком; брать за верхушки?

53. Приведите примеры, показывающие, что действие силы зависит от её модуля, точки приложения и направления.

54. Почему при выстреле снаряд и орудие двигаются в разные стороны и получают разные скорости?

55. 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.

56. Имеются две одинаковые банки: одна с водой, другая с растительным маслом. Банки с жидкостями уравнове-

ли на рычажных весах. У какой жидкости уровень выше — у воды или у масла?

57. Какая жидкость налита в сосуд ёмкостью 100 л, если её масса 93 кг?
58. Найдите массу бетонной плиты размером $6 \times 3 \times 0,25$ м.
59. Найдите объём айсберга массой 240 т. Ответ округлите до сотых.
60. Для промывки медной детали массой 17,8 кг её опустили в бак с керосином. Определите массу керосина, вытесненного этой деталью.
61. Насколько изменилась масса топливного бака с бензином, когда в него долили бензин, объём которого 200 л?
62. Чугунный шар имеет массу 800 г при объёме 135 см^3 . Сплошной или полый этот шар?
63. Два одинаковых ящика наполнили дробью: один — крупной, другой — мелкой. Масса какого ящика больше? Ответ поясните.
64. В пустой измерительный цилиндр массой 240 г налили жидкость объёмом 75 см^3 . Масса цилиндра с жидкостью 300 г. Какую жидкость налили в него?
65. Чему равна сила тяжести, действующая на деревянную пробку объёмом 100 см^3 ? Плотность пробки равна $0,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.
66. Определите массу стула, на который действует сила тяжести 30 Н.
67. Какая сила тяжести действует на медный брусок размером $10 \times 8 \times 5$ см? Принять $g = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$.
68. Рассчитайте силу тяжести, действующую на космонавта, масса которого вместе со скафандром равна 85 кг. Ускорение свободного падения на Луне $1,6 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$.
69. Определите вес алюминиевого цилиндра объёмом 200 см^3 , подвешенного на прочной нити. Принять $g = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$.
70. Канат удерживает предельную нагрузку 3 кН. Разорвётся ли канат, если на нём попробовать перенести груз массой 0,6 т?

71. Мальчик массой 45 кг взял в руки портфель массой 2,5 кг. С какой силой он стал давить на пол?
72. Масса воды в ведре уменьшилась в 2 раза. Изменился ли её вес? Если изменился, то как?
73. Определите жёсткость пружины, если под действием силы 4 Н она растянулась на 8 см.
74. 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?

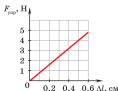


Рис. 216

75. По графику зависимости силы упругости, действующей на пружину, от её удлинения (рис. 216) определите жёсткость пружины.
76. Всегда ли выполняется закон Гука? Когда этот закон не выполняется?
77. Почему мел оставляет след на классной доске?
78. Почему трудно удержать в руке пойманную рыбу?
79. Всегда ли трение скольжения больше трения качения? Приведите примеры.
80. На тело действуют две силы 12 и 16 Н, направленные по одной прямой вправо. Чему равна равнодействующая этих сил и куда она направлена?
81. 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?
82. Три силы направлены по одной прямой: влево 16 и 2 Н, вправо 18 Н. Определите равнодействующую силу и её направление.
83. Сила тяги стартующей вертикально вверх ракеты равна 400 кН, а сила тяжести, действующая на ракету, — 100 кН. Определите равнодействующую этих сил.

84. Двухосный прицеп с грузом имеет массу 2,5 т. Определите давление, оказываемое прицепом на дорогу, если площадь соприкосновения каждого колеса с дорогой равна 125 см^2 .
85. Токарный станок массой 300 кг опирается на фундамент четырьмя ножками. Определите давление станка на фундамент, если площадь каждой ножки 50 см^2 .
86. Для испытания бетона на прочность из него изготавливают кубики размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$. При сжатии под прессом кубики начали разрушаться при действии на них силы 480 000 Н. Определите минимальное давление, при котором этот бетон начинает разрушаться.
87. Лёд выдерживает давление 90 кПа. Пройдёт ли по этому льду трактор, если его вес 30 000 Н и он опирается на гусеницы общей площадью $1,5 \text{ м}^2$?
88. Из бутылки трудно пить, когда её горлышко плотно охвачено губами. Почему?
89. Почему при накачивании воздуха в шину автомобиля с каждым разом становится всё труднее двигать ручку насоса?
90. Под колоколом воздушного насоса находится сосуд, закупоренный пробкой. Почему при выкачивании воздуха из-под колокола пробка может вылететь?



Рис. 217



Рис. 218

91. Одно из колен манометра соединили с сосудом, заполненным газом (рис. 217). Чему равно давление газа в сосуде, если атмосферное давление составляет 766 мм рт. ст.?
92. 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?
93. Сосуды 1 и 2 заполнены водой (рис. 218). Высота столба жидкости 10 см, площадь дна сосудов 1 см^2 . Определите давление и силу давления на дно каждого сосуда.

94. На сколько давление воды на глубине 10 м больше, чем на глубине 1 м?
95. Если из мелкокалиберной винтовки выстрелить в варёное яйцо, в нём образуется отверстие. Если выстрелить в сырое яйцо, то оно разлетится. Как объяснить это явление?
96. 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?
97. 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.
98. Жидкость давит на тело, погружённое в неё, сверху, снизу и с боков. Почему же выталкивающая сила всегда направлена вертикально вверх?
99. Почему нельзя тушить горящий керосин, заливая его водой?
100. Когда молоко подливают в кофе, то оно опускается на дно чашки. Почему?
101. 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?
102. Шарик массой 250 г плавает на поверхности воды. Определите объём части шарика, находящейся под водой.

РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

103. Ученик держит в руках портфель. Совершается ли при этом механическая работа?
104. С некоторой высоты на стол падает мячик и отскакивает вверх. Определите знак работы, совершаемой силой тяжести на участке падения и на участке подъёма.
105. В каком случае совершается большая 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.

- 106.** Какую работу совершает кран при равномерном подъёме груза массой 5 т на высоту 8 м?
- 107.** 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?
- 108.** Экскаватор за 1 ч поднимает 120 т песка на высоту 10 м. Какую мощность он при этом развивает?
- 109.** Какую работу совершает двигатель мясорубки мощностью 800 Вт в течение 20 мин?
- 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.** Обладают ли энергией: а) незаведённая пружина часов; б) вода, поднятая плотиной; в) сжатый газ; г) тело, лежащее неподвижно на земле?
- 114.** Чему равна кинетическая энергия тела массой 0,4 кг, движущегося со скоростью $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?
- 115.** 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.** Какие превращения энергии происходят при прыжках ребёнка на батуте?

ОТВЕТЫ

К упражнениям

Упр. 2. **1.** 10^{-10} м. **4.** 856164,4 года.

Упр. 7. **7*.** $54,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Упр. 8. **1.** $6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **2.** 30 мм. **3.** 20 лет. **5.** 250 км; $125 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **6.** $9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; 27 м, 63 м.

7. $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **8*.** 2,22 ч; $18 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. **9.** $v = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}$.

Упр. 9. **1.** $-5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **2.** $2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **3.** $2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. **4.** 2,5 с. **5.** $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **6*.** I — равноускоренное движение, $a_I = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $s_I = 16$ м. II — равномерное движение, $a_{II} = 0$, $s_{II} = 8$ м.

Упр. 11. **3.** $0,96 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. **4.** $1,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Упр. 12. **4.** 2,9. **5.** 15,8. **6.** $7300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, олово. **7.** $0,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, дуб. **8*.** Уровень керосина выше. **9*.** Плотность ртути уменьшится, объём ртути увеличится, масса ртути не изменится.

Упр. 13. **1.** $m_{\text{вода}} = 0,5$ кг, $m_{\text{белзин}} = 0,355$ кг, $m_{\text{м.масло}} = 0,45$ кг. **2.** 0,29. **3.** 45 л. **4.** 15 кг. **5.** $2,5 \text{ м}^3$. **6.** $m_{\text{дер}} = \frac{\rho_{\text{дер}}}{\rho_{\text{масл}}} M$.

Упр. 15. **5*.** 0,05 Н.

Упр. 16. **8.** $\Delta l = \frac{mg}{k}$.

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; 25 кПа; 0,7 кПа. **2.** 18,75 кПа; в 10,7 раза меньше. **3.** 300 Па. **4.** $3,34 \cdot 10^5$ 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; $\Delta p = 3400$ Па; 0,16 м.

Упр. 24. 2. 39 Н.

Упр. 25. 1. 10,336 м. 2. 30 Н. 3. 1,33 гПа; 937,09 гПа; 1026,41 гПа. 4*. 1016 гПа.

Упр. 26. 4. 459 м. 5. Уменьшилось на 22,2 кПа. 6. $60,78 \cdot 10^3$ Н.

Упр. 27. 1. 6,25 м; 0,37 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. 6. 7200 Н; 9000 Н. 7*. 90%.

Упр. 31. 2. $5 \cdot 10^3$ м³. 3*. Нет. 6. 10 кН. 7. 21,4 м³.

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. 0,15 м.

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.

Упр. 37. 1. 80 Н. 2. 12,5 см.

Упр. 38. 1. 80%. 2. 66,7%. 3. 120 кг.

Упр. 39. 1. $E_{n2} = 2E_{n1}$. 2. $E_{n1} = 4E_{n2}$. 3. 100 Дж. 4*. $8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$; увеличится в 4 раза. 5. 50 Дж. 6. $3 \cdot 10^5$ Дж. 7. $E_{n1} = E_{n2}$.

К задачам на повторение

8. 1 мм. 25. 5 $\frac{\text{см}}{\text{ч}}$. 27. 3022,8 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. 28. 5 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. 29. 500 м. 30. 600 000 м.

31. 42 596 м. 32. 19 200 м. 33. 125 мин. 34. $v_{\text{ср}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $v_{\text{дел}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 35. 3600 м.

37. 225 км. 38. 72 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. 40. 14 м; 12 м. 41. 2) 50 м. 42. 320 м; для изменения скорости требуется время, она не может изменяться скачком. 43. 2 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

44. -1,5 $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. 45. 19 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. 46. 30 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. 47. $a_1 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $a_{\text{II}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. 49. 2) 4 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$; 7 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

8 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. 55. 121,5 Н. 57. 930 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; масло. 58. 10 350 кг. 59. 266,67 м³. 60. 1,6 кг.

61. 142 кг. 62. Шар полый. 63. С мелкой дробью. 64. 800 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; спирт или керосин. 65. 0,2 Н. 66. 3 кг. 67. 35,6 Н. 68. 136 Н. 69. 5,4 Н. 70. 6 кН; канат

разорвётся. 71. 475 Н. 72. Уменьшился в 2 раза. 73. 50 $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 74. $30 \cdot 10^{-2}$ м.

75. 800 $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 80. 28 Н; вправо. 81. 3 Н; в сторону F_1 . 82. 0. 83. 300 кН.

84. $5 \cdot 10^5$ Па. 85. $1,5 \cdot 10^5$ Па. 86. $4,8 \cdot 10^7$ Па. 87. Пройдёт. 91. 966 мм рт. ст.

93. 10^3 Па; 0,1 Н. 94. $9 \cdot 10^4$ Па. 96. $2 \cdot 10^3$ Н. 97. а) 800 Н; б) 4 см. 101. 1 Н.

102. $2,5 \cdot 10^{-4}$ м³. 105. Во втором случае совершится большая работа.

106. $4 \cdot 10^5$ Дж. 108. $3,33 \cdot 10^3$ Вт. 109. $9,6 \cdot 10^5$ Дж. 110. 0,7 м.

111. $6 \cdot 10^3$ Дж. 112. 75%. 114. 1,8 Дж. 115. Уменьшится в 9 раз.

116. $3,2 \cdot 10^9$ Дж.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абсолютная погрешность измерений 16
Агрегатное состояние вещества 38
Ареометр 171
Архимед 158
Архимедова сила 159
Атмосфера 136
Атмосферное давление 136
Атом 24
Аэростат 168

Б

Барометр-анероид 144
Безразличное равновесие 196
Блок 189
Броун Р. 29
Броуновское движение 30

В

Ватерлиния 167
Ватт (единица мощности) 178
Вес тела 93
Вещество 6
Взаимодействие тел 66
Водоизмещение судна 167
Время движения 56
Всемирное тяготение 86
Выталкивающая сила 155

Г

Гагарин Ю. А. 22
Газ 39
Галилей Г. 19
Гидравлический пресс 151

Гидростатический парадокс 132
Гипотеза 8
Гук Р. 89

Д

Давление 114
— газа 119
— жидкости 129
Деформация 83
Джоуль (единица работы) 174
Динамометр 100
Диффузия 32

Ж

Жидкость 39
Жёсткость 90

З

Закон 8
— Архимеда 158
— Гука 90
— Паскаля 123
Затраченная работа 198
«Золотое правило» механики 192

И

Измерение 10
Инерция 64

К

Кинетическая энергия 202
Королёв С. П. 21
Коэффициент полезного действия 199

Л

Ломоносов М. В. 3

М

Максвелл Дж. 20

Манометр 147

Масса тела 69

Материя 6

Метод научного познания 7

Механическая работа 173

Механическое движение 44

Модель 8

Молекула 26

Момент силы 186

Мощность 178

Н

Наблюдение 7

Неподвижный блок 190

Неравномерное движение 48

Несмачивание 36

Неустойчивое равновесие 196

Ньютон И. 20

Ньютон (единица силы) 84

О

Опыт 7

— Торричелли 139

Относительность движения 44

П

Паскаль (единица давления) 116

Паскаль Б. 122

Плавание тел 162

Плечо силы 184

Плотность 74

Подвижный блок 190

Подшипник 111

Полезная работа 198

Полная работа 198

Поршневой жидкостный насос 149

Потенциальная энергия 203

Правило моментов 187

— равновесия рычага 185

Прямолинейное равноускоренное

движение 59

Путь 46

Р

Равнодействующая сил 103

Равномерное движение 47

Ртутный барометр 140

Рычаг 184

С

Сила 83

— трения 106

— — качения 106

— — покоя 109

— — скольжения 106

— тяжести 86

— упругости 88

Скорость 49

Смачивание 36

Средняя скорость 52

Статостат 168

Т

Твёрдое тело 38

Теория 8

Торричелли Э. 139

Траектория 45

У

Устойчивое равновесие 195

Ускорение 60

— свободного падения 92

Ф

Физическая величина 10

Физическое тело 5

— явление 4

Ц

Цена деления шкалы 12

Центр тяжести тела 193

Циолковский К. Э. 99

Э

Эксперимент 7

Энергия 201

Я

Явление 3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ФИЗИКА И ЕЁ РОЛЬ В ПОЗНАНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

| | | |
|------|---|----|
| § 1. | Что изучает физика | 3 |
| § 2. | Некоторые физические термины | 5 |
| § 3. | Наблюдения и опыты | 7 |
| § 4. | Физические величины. Измерение физических величин | 9 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Старинные меры | 14 |
| § 5. | Точность и погрешность измерений | 15 |
| § 6. | Физика и её влияние на развитие техники | 18 |
| | ИТОГИ ГЛАВЫ | 23 |

ГЛАВА 1 ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

| | | |
|-------|--|----|
| § 7. | Строение вещества | 24 |
| § 8. | Молекулы | 26 |
| § 9. | Броуновское движение | 29 |
| § 10. | Диффузия в газах, жидкостях и твёрдых телах | 31 |
| § 11. | Взаимное притяжение и отталкивание молекул | 33 |
| § 12. | Агрегатные состояния вещества | 38 |
| § 13. | Различия 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 | 59 |
| § 19. | Инерция | 63 |
| § 20. | Взаимодействие тел | 65 |
| § 21. | Масса тела. Единицы массы | 68 |
| § 22. | Измерение массы тела на весах | 71 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Эталон килограмма | 73 |
| § 23. | Плотность вещества | 74 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Космические плотности | 79 |

| | | |
|-------|--|-----|
| § 24. | Расчёт массы и объёма тела по его плотности | 80 |
| § 25. | Сила | 82 |
| § 26. | Явление тяготения. Сила тяжести | 85 |
| § 27. | Сила упругости. Закон Гука | 87 |
| § 28. | Связь между силой тяжести и массой тела. Вес тела | 91 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Невесомость | 95 |
| § 29. | Сила тяжести на других планетах. Физические характеристики планет | 96 |
| § 30. | Динамометр | 100 |
| § 31. | Сложение двух сил, направленных по одной прямой. Равнодействующая сил | 102 |
| § 32. | Сила трения | 105 |
| § 33. | Трение покоя | 108 |
| § 34. | Трение в природе и технике | 110 |
| | ИТОГИ ГЛАВЫ | 112 |

ГЛАВА 3 ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

| | | |
|-------|---|-----|
| § 35. | Давление. Единицы давления | 114 |
| § 36. | Давление газа | 118 |
| § 37. | Передача давления жидкостями и газами. Закон Паскаля | 122 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Пневматические машины и инструменты | 124 |
| § 38. | Давление в жидкости и газе, вызванное действием силы тяжести | 126 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Давление на дне морей и океанов. Исследование морских глубин | 128 |
| § 39. | Расчёт давления жидкости на дно и стенки сосуда | 129 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Гидростатический парадокс | 131 |
| § 40. | Сообщающиеся сосуды | 132 |
| § 41. | Вес воздуха. Атмосферное давление | 136 |
| § 42. | Измерение атмосферного давления. Опыт Торричелли | 139 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | История открытия атмосферного давления | 142 |
| § 43. | Барометр-анероид. Атмосферное давление на различных высотах | 144 |
| § 44. | Манометры. Поршневой жидкостный насос | 147 |
| § 45. | Гидравлический пресс | 150 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Пресс-гигант | 153 |
| § 46. | Действие жидкости и газа на погружённое в них тело | 154 |
| § 47. | Архимедова сила | 157 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Легенда об Архимеде | 161 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|-----|
| § 48. | Плавание тел | 161 |
| § 49. | Плавание судов. Воздухоплавание | 166 |
| | ИТОГИ ГЛАВЫ | 171 |

ГЛАВА 4 РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

| | | |
|-------|---|-----|
| § 50. | Механическая работа. Единицы работы | 173 |
| | ЭТО ЛЮБОПЫТНО... | |
| | Работа в организме человека | 176 |
| § 51. | Мощность. Единицы мощности | 177 |
| § 52. | Простые механизмы | 181 |
| § 53. | Рычаг. Равновесие сил на рычаге | 182 |
| § 54. | Момент силы | 186 |
| § 55. | Рычаги в технике, быту и природе | 188 |
| § 56. | Применение правила равновесия рычага к блоку | 189 |
| § 57. | Равенство работ при использовании простых механизмов. «Золотое правило» механики | 191 |
| § 58. | Центр тяжести тела | 193 |
| § 59. | Виды равновесия тел | 195 |
| § 60. | Коэффициент полезного действия механизма | 198 |
| § 61. | Энергия | 201 |
| § 62. | Кинетическая и потенциальная энергия | 202 |
| § 63. | Превращение механической энергии одного вида в другой | 206 |
| | ИТОГИ ГЛАВЫ | 208 |

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

| | | |
|------|--|-----|
| № 1 | Определение показаний измерительного прибора | 209 |
| № 2 | Определение размеров малых тел | 210 |
| № 3 | Измерение массы тела | 211 |
| № 4 | Измерение объёма твёрдого тела | 213 |
| № 5 | Определение плотности твёрдого тела | 214 |
| № 6 | Исследование силы упругости | 215 |
| № 7 | Градуирование пружины и измерение сил динамометром | 216 |
| № 8 | Исследование зависимости силы трения скольжения от площади соприкосновения тел и прижимающей силы | 217 |
| № 9 | Изучение выталкивающей силы, действующей на погружённое в жидкость тело | 218 |
| № 10 | Выяснение условий плавания тела в жидкости | 220 |
| № 11 | Выяснение условия равновесия рычага | 220 |
| № 12 | Определение КПД наклонной плоскости | 222 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ | 223 |
|-----------------------------|-----|

| | |
|--------------|-----|
| ОТВЕТЫ | 234 |
|--------------|-----|

| | |
|-----------------------------------|-----|
| ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ | 236 |
|-----------------------------------|-----|

Учебное издание

**Перышкин И. М.
Иванов А. И.**

ФИЗИКА

7 класс

Учебник

Центр физики и астрономии

Ответственный за выпуск *И. Г. Власова*

Ответственный редактор *А. О. Туликин*

Художественные редакторы *А. В. Шувалова, Ю. В. Христич*

Художественное оформление *А. В. Копалина*

Художники *О. А. Новотоцких, В. С. Давыдов, Ю. В. Христич*

Технический редактор *Е. А. Урвачева*

Компьютерная верстка *Т. М. Дородных*

Корректор *Г. И. Мосякина*

Подписано в печать 31.01.2022. Формат 70×90/16.

Усл. печ. л. 17,55. Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».

Российская Федерация,

127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, этаж 4, помещение I.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — vopros@pros.ru.