Ф. Я. Божинова, И. Ю. Ненашев,
Н. М. Кирюхин

ФИЗИКА

8

ИЗДАТЕЛЬСТВО
РАНОК

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721
Б76

Издано за счет средств издательства.
Продажа разрешена

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
(приказ Министерства образования и науки Украины от 19.03.2008 г. № 205)

Работники Министерства образования и науки Украины и Института инновационных технологий и содержания образования, ответственные за подготовку учебника к изданию:
Е. В. Хоменко, главный специалист МОН Украины,
И. А. Юрчук, методист высшей категории
Института инновационных технологий и содержания образования

Рецензенты:
А. М. Габович, доктор физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник Института физики НАН Украины,
В. А. Одарич, канд. физ.-мат. наук, доцент КНУ им. Т. Г. Шевченко

Божинова Ф. Я.
Б76 Физика. 8 класс: Учебник для общеобразоват. учеб. завед. / Ф. Я. Божинова, И. Ю. Ненашев, Н. М. Кирюхин.— Харьков: Ранок, 2008.— 256 с.: ил.

ISBN 978-966-672-234-1

Предлагаемый учебник является составляющей учебно-методического комплекта «Физика-8», который включает также планы-конспекты всех уроков, сборник задач, тетрадь для лабораторных работ и зачетную тетрадь для тематического контроля.

Основная цель учебника — способствовать формированию базовых физических знаний, показать их необходимость для понимания окружающего мира.

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721

ISBN 978-966-672-234-1

© Ф. Я. Божинова, И. Ю. Ненашев, Н. М. Кирюхин, 2008
© В. В. Зюзюкин, Е. В. Пуляева, ил., 2008
© ООО Издательство «Ранок», 2008

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

В этом учебном году продолжается ваше путешествие в мир физики. Вас, как и прежде, ожидает много интересного — будете наблюдать явления природы, проводить физические эксперименты и на каждом уроке совершать собственные маленькие открытия. На этом пути вас ожидает не только хорошо известные из курса природоведения и математики понятия: «скорость», «путь», «сила», «работа»,— но и много новых, еще не известных вам.

Ни одно настоящее путешествие не бывает легким, но при этом сколько нового вы узнаете об окружающем мире! И главным помощником для вас станет учебник, который вы держите в руках.

Будьте внимательны и настойчивы, изучая содержание каждого параграфа. И тогда вы сможете понять суть изложенного материала и научиться применять полученные знания в повседневной жизни.

Обратите внимание, что каждый параграф завершается рубриками: «Подводим итоги», «Контрольные вопросы», «Упражнение», «Экспериментальные задания». Для чего они нужны и как ими пользоваться?

В рубрике **«Подводим итоги»** даны сведения об основных понятиях и явлениях, с которыми вы познакомились. Благодаря ей вы имеете возможность еще раз обратить внимание на главное в изученном материале.

«Контрольные вопросы» помогут выяснить, поняли вы материал или что-то упустили. Если вы сможете ответить на все вопросы, то все обстоит благополучно. Если же на некоторые вопросы вы не знаете ответа, снова обратитесь к тексту параграфа.

Рубрика **«Упражнение»** сделает ваше путешествие в удивительный мир физики еще более интересным и пополнит ваши знания. Задания этой рубрики по силам каждому, однако придется поразмыслить и проявить сообразительность. Задания, обозначенные звездочкой (*),— для тех, кто не привык останавливаться на достигнутом и хочет узнать больше.

Физика — наука экспериментальная, поэтому в учебнике вас ожидают **экспериментальные задания (в каждом параграфе)** и **лабораторные работы**. Обязательно выполните их — и вы начнете лучше понимать физику и любить ее.

Материалы, предложенные в конце каждого раздела под рубриками **«Подводим итоги раздела»** и **«Задания для самопроверки»**, будут полезными при повторении изученного и подготовке к контрольным работам.

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

Интересного путешествия в мир физики, и пусть вам во всем сопутствует удача!

РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

§ 1. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ. ТРАЕКТОРИЯ. ПУТЬ

?! Всю жизнь мы сталкиваемся с движением и покоем. Большинство тел, которые нас окружают, находятся в движении: автомобили, самолеты, листья деревьев, животные, насекомые и т. п. С другой стороны, дома, железнодорожные рельсы, столбы, стоящие вдоль дорог, и другие предметы находятся в покое. Изучив данный параграф, вы узнаете, что на самом деле в постоянном движении находятся все тела и что понятия покоя и движения относительны.

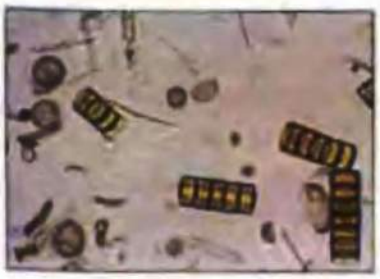


Рис. 1.1. Все в мире движется: и огромные галактики, и окружающие нас тела, и микроскопические организмы

1 Знакомимся с механическим движением

В 7 классе вы узнали о различных физических явлениях. Одно из наиболее распространенных из них — механическое движение (рис. 1.1). Движутся с течением времени все тела: миллиарды лет, которые существует Вселенная, разлетаются друг от друга галактики; Земля движется вокруг Солнца, осуществляя один оборот в год; за несколько часов самолет перелетает из Киева в Париж; в капле воды множество микробов ежесекундно перепрыгивают с места на место; молекулы и атомы веществ все время находятся в хаотичном движении и т. д.

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

Механическое движение — это изменение с течением времени положения тела в пространстве относительно других тел.

Выяснить, движется тело или находится в состоянии покоя, можно только если рассматривать положение этого тела относительно других тел (рис. 1.2).

Тело, относительно которого определяется положение движущегося тела, называют *телом отсчета*. Каждый наблюдатель выбирает тело отсчета произвольно.

2 Исследуем относительность движения

То, что тело отсчета можно выбирать произвольно, означает, что *состояние движения и состояние покоя являются относительными*.

Представим пассажира, который, сидя в кресле вагона поезда, едет в другой город. Относительно кресла и вагона пассажир не меняет со временем своего положения, то есть находится в состоянии покоя, а вот относительно деревьев за окном он движется.

Читая эти строки, вы, скорее всего, сидите в классе за партой или дома за столом. Относительно парты или стола вы находитесь в состоянии покоя; в то же время вместе со всем, что есть на Земле, вы движетесь относительно Солнца.

Относительность движения дает возможность «остановить» движущийся автомобиль. Для этого нужен еще один автомобиль, который будет ехать рядом с первым, не отставая и не обгоняя его. В таком случае автомобили относительно друг друга будут находиться в состоянии покоя. (Вспомните, как каскадеры пересаживаются из одного мчащегося автомобиля в другой: не нужно никакой остановки!) Тот же принцип используется при перекачивании горючего из одного самолета в другой прямо в воздухе (рис. 1.3).

Рис. 1.2. Если представить, что во Вселенной есть только одно тело,— например, планета Земля,— то попытки определить, движется оно или нет, теряют смысл — это невозможно

Рис. 1.3. Самолеты относительно друг друга остановились, в то же время относительно Земли они движутся с большой скоростью

3 Изучаем траектории движения

Проведите по листу бумаги карандашом — вы получите линию, в каждой точке которой последовательно побывал кончик карандаша (рис. 1.4). Эта линия — *траектория движения* кончика карандаша.

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

Форма траектории движения может быть произвольной: дуга, парабола, прямая, ломаная и т. д. Траектории движения тел по форме делятся на *прямолинейные* (рис. 1.5, *а*) и *криволинейные* (рис. 1.5, *б*).

Обычно мы не видим траектории движения тел, однако бывают исключения. Так, в безоблачный день высоко в небе заметен белый след, оставленный самолетом. Этот след —

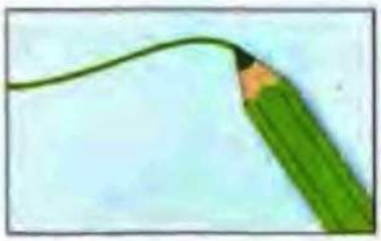


Рис. 1.4. Кончик карандаша оставляет на бумаге линию, по которой двигался

Рис. 1.5. Движение ракеты в первые секунды после старта — пример прямолинейного движения *(а)*; движение трамвая на повороте — пример криволинейного движения *(б)*

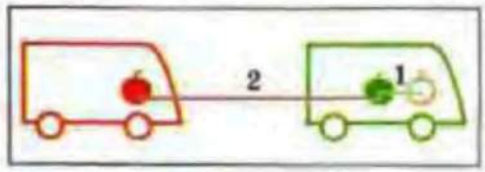
траектория движения самолета. В других случаях траекторию движения можно «заготовить» заранее: например, траекторией движения поезда можно считать рельсы, по которым он едет.

Траектория движения одного и того же тела может быть разной — она зависит от того, относительно какого тела отсчета наблюдают за движением. Например, сидя в автобусе, мальчик передал яблоко своему соседу. Для мальчика, его соседа и других пассажиров траектория движения яблока — это отрезок прямой. Телом отсчета в этом случае является салон автобуса. Но за время, пока мальчик передавал яблоко, оно вместе с автобусом проехало некоторый участок шоссе, поэтому для человека, стоящего на обочине дороги, траектория движения яблока совсем другая (рис. 1.6). Телом отсчета в таком случае может быть, например, шоссе.

Во время движения тела каждая его точка имеет свою траекторию. Исследовать траектории движения всех точек тела очень сложно, однако достаточно часто этого делать и не нужно. Речь идет о случаях, когда размерами тела можно пренебречь и считать тело одной точкой. Когда же такое возможно?

Если размеры тела намного меньше расстояния, которое оно преодолевает, то в таких случаях говорят, что тело можно считать *материальной точкой*. Например, рассмотрим автомобиль, который едет по трассе из Одессы в Киев, и этот же автомобиль, паркующий-

Рис. 1.6. Для пассажиров автобуса траектория движения яблока — короткий отрезок прямой (на схеме — линия *1*), для наблюдателя на обочине дороги эта траектория будет совсем другой (на схеме — линия *2*)



ся на автостоянке. В первом случае, исследуя движение автомобиля, можно пренебречь его размерами, то есть тем, что во время путешествия его отдельные точки двигались по разным траекториям, ведь расстояние, пройденное автомобилем, было намного больше, чем, например, его длина. Во втором случае пренебречь размерами автомобиля нельзя — он может столкнуться с другими машинами на автостоянке.

При исследовании движения Земли вокруг Солнца Землю можно считать материальной точкой, а вот когда ученые работают над предупреждением падения на Землю астероидов, то понятно, что размерами Земли пренебрегать нельзя.

Далее, говоря о движении тела, будем считать его материальной точкой.

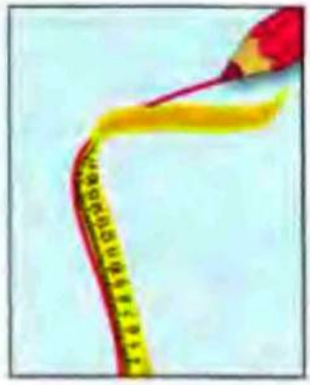


Рис. 1.7. Измерение длины траектории движения кончика карандаша

4 Измеряем путь

Вернемся к примеру с карандашом. Чтобы найти расстояние, пройденное кончиком карандаша за определенное время, нужно вычислить длину линии, по которой он двигался, то есть длину его траектории (рис. 1.7). Это и будет *путь*, пройденный кончиком карандаша.

Путь — это физическая величина, равная длине траектории.

Путь обозначают символом l.

Единицей длины и, следовательно, пути в СИ является **метр** (м). Используют также дольные и кратные единицы пути, например *миллиметр* (мм), *сантиметр* (см), *дециметр* (дм), *километр* (км): 1 мм = 0,001 м; 1 см = 0,01 м; 1 дм = 0,1 м; 1 км = 1000 м.

Путь, пройденный телом, будет разным относительно разных тел отсчета. Вспомним яблоко, которое мальчик передавал своему соседу в автобусе: для мальчика яблоко прошло путь около полуметра, а для человека на обочине дороги — несколько десятков метров.

Подводим итоги

Механическое движение — это изменение с течением времени положения тела в пространстве относительно других тел.

Состояния движения и покоя относительны и зависят от выбора тела отсчета.

Траектория — это линия, которую описывает в пространстве движущаяся точка. Траектории движения тел по форме делятся на прямолинейные и криволинейные.

Путь — это физическая величина, равная длине траектории. Единица пути в СИ — метр.

Форма и длина траектории зависят от выбора тела отсчета.

Контрольные вопросы

1. Что такое механическое движение? 2. Приведите примеры, подтверждающие относительность движения. 3. Что такое тело отсчета? 4. Что такое траектория движения? 5. Когда тело можно считать материальной точкой? Приведите примеры. 6. Сформулируйте определение пути. 7. Какие единицы пути вам известны? 8. Могут ли форма и длина траектории одного и того же тела быть разными для разных наблюдателей? Поясните свой ответ.

Упражнение № 1

1. По дороге едет автобус с пассажирами. Назовите тела, относительно которых водитель автобуса находится в состоянии покоя, и тела, относительно которых он движется.
2. Можно ли считать космический корабль материальной точкой, если он: а) осуществляет перелет Земля — Марс; б) совершает посадку на поверхность Марса?
3. С верхушки мачты парусника, плывущего вдоль берега, на тросе спускают флаг. Определите форму траектории флага относительно пассажиров парусника и относительно наблюдателей на берегу.
4. Пассажир поезда прошел по вагону в направлении движения поезда от первого до четвертого купе. За это время вагон проехал расстояние 400 м. Какой путь преодолел пассажир относительно поезда и относительно Земли? Расстояние между первым и четвертым купе равно 7,5 м.

Экспериментальное задание

С помощью мерной ленты измерьте длину вашего шага. Затем измерьте шагами длину школьного коридора и выразите ее в метрах. Сравните полученный результат с экспериментальными данными одноклассников. Сделайте выводы относительно точности измерений.

§ 2. СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ. ЕДИНИЦЫ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

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

1 Выясняем, что такое скорость равномерного движения

Слово «скорость» мы употребляем с детства и поэтому, когда слышим, что скорость автомобиля составляет 20 метров в секунду, интуитивно понимаем, что значат эти слова: если автомобиль будет двигаться с этой скоростью 1 секунду, то преодолеет расстояние, равное 20 метрам, а если 2 секунды, то это расстояние будет составлять 40 метров.

При этом мы считаем, что автомобиль движется так, что за любые (малые или большие) равные промежутки времени он преодолевает одинаковые пути. Такое движение называют *равномерным*.

Равномерное движение — это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути.

Теперь дадим определение скорости равномерного движения тела.

Скорость равномерного движения тела — это физическая величина, равная отношению пути l, пройденного телом, ко времени t, в течение которого этот путь был пройден.

Скорость движения обозначают символом v и определяют по формуле

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

Единица скорости движения в СИ — **метр в секунду** (м/с).

Если равномерно движущееся тело имеет скорость 1 м/с, *то оно за каждую секунду преодолевает* 1 м.

Прибором для измерения скорости движения служит *спидометр* (рис. 2.1).

2 Выясняем связь между единицами скорости движения

Скорость движения может быть представлена не только в метрах в секунду, но и в других единицах: километрах в час (км/ч), километрах в секунду (км/с), сантиметрах в секунду (см/с) и т. п.

Для решения задач следует научиться переводить скорость движения тел из одних единиц в другие. Например, скорость движения автомобиля дана в километрах в час: 36 км/ч. Чтобы перевести ее в метры в секунду, вспомним, что 1 ч = 3600 с, а 1 км = 1000 м. Тогда:

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

Таким образом, *числовое значение скорости движения тела зависит от выбранной единицы скорости.*

Рис. 2.1. Транспортные средства (автомобиль, автобус, поезд, самолет и т. д.) оборудованы спидометрами — приборами для измерения скорости движения

3 Убеждаемся в относительности скорости движения

Знать, сколько метров в секунду или километров в час преодолевает тело, не значит знать о скорости движения этого тела все. Скорость движения имеет еще и направление: автомобиль может ехать в одну сторону, а может в другую, футболист может бежать по полю как к воротам, так и к скамейке запасных и т. п. На рисунках направление скорости движения тела показывают стрелкой (рис. 2.2). Рядом со стрелкой располагают символ скорости со стрелочкой над ним: $\vec{v}$ (так в математике обозначают

4 Учимся решать задачи

Задача 1. Корабль идет с постоянной скоростью 7,5 м/с. Какой путь он преодолеет за 20 ч?

Дано:

$v = 7{,}5\,\frac{м}{с} = 27\,\frac{км}{ч}$

$t = 20$ ч

l — ?

Анализ физической проблемы, поиск математической модели

Для расчета пути, пройденного кораблем, воспользуемся определением скорости движения: $v = \frac{l}{t}$.

Отсюда получаем формулу для вычисления пути: $l = vt$ (см. также рис. 2.4). Целесообразно перевести единицы скорости из метров в секунду в километры в час — так мы получим значение пути в километрах, что является естественным для корабля, двигавшегося 20 часов.

Решение и анализ результатов

Воспользуемся формулой для вычисления пути:

$$l = vt.$$

Определим значение искомой величины:

$$[l] = \frac{км}{ч} \cdot ч = км;$$

$$\{l\} = 27 \cdot 20 = 540;\ l = 540\ км.$$

Проанализируем результат: полученное значение пути для корабля является правдоподобным.

Ответ: корабль за 20 ч преодолеет 540 км.

Задача 2. Вдоль перрона едет электричка со скоростью 8 км/ч. По первому вагону электрички идет мальчик. По второму вагону навстречу мальчику идет его отец. С какими скоростями относительно перрона движутся отец и мальчик, если относительно электрички они движутся со скоростями 3 и 2 км/ч соответственно?

Дано:

$v_{эл} = 8\,\frac{км}{ч}$

$v_{отн\,1} = 3\,\frac{км}{ч}$

$v_{отн\,2} = 2\,\frac{км}{ч}$

v_1 — ?

v_2 — ?

Анализ физической проблемы

По условию мальчик находился в первом вагоне, отец — во втором, и они шли навстречу друг другу. Это означает, что отец двигался в направлении движения электрички, а мальчик — в противоположном.

Поиск математической модели, решение

Скорость движения отца относительно электрички ($v_{отн\,1}$) — это разность между скоростью движения отца относительно перрона (v_1) и скоростью движения электрички ($v_{эл}$): $v_{отн\,1} = v_1 - v_{эл}$. Отсюда получаем: $v_1 = v_{отн\,1} + v_{эл}$.

Рис. 2.2. На рисунке направления скорости движения тел показывают стрелками

векторы — величины, имеющие значение и направление).

Направление скорости движения тела зависит от того, относительно какого тела мы определяем скорость.

Например, поезд, который следует на юг, проезжает мимо станции. В это время пассажир первого вагона идет по коридору в направлении второго вагона. Для проводника пассажир движется на север, а для человека, находящегося на перроне, пассажир вместе с поездом движется на юг (рис. 2.3).

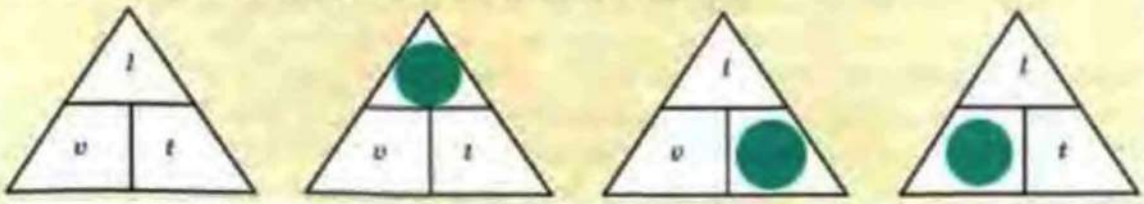
Значение скорости движения тела зависит от того, относительно какого тела мы определяем скорость.

Если автомобиль, едущий со скоростью 50 км/ч, догоняет другой автомобиль, скорость движения которого 40 км/ч, то расстояние между ними каждый час уменьшается на $50 - 40 = 10$ километров. Это значит, что скорость движения одного автомобиля относительно другого составляет 10 км/ч. Итак, если тела движутся в одном направлении, для вычисления относительной скорости движения следует использовать формулу $v_{отн} = v_1 - v_2$, где v_1 — бóльшая скорость; v_2 — меньшая скорость $(v_1 > v_2)$.

Рис. 2.3. Направление скорости движения зависит от того, где находится наблюдатель

Если же эти автомобили едут навстречу друг другу, то расстояние между ними каждый час сокращается на $50 + 40 = 90$ километров. В этом случае скорость движения одного автомобиля относительно другого равна 90 км/ч и формула для вычисления относительной скорости движения имеет вид $v_{отн} = v_1 + v_2$.

Рис. 2.4. Закрывая пальцем символ искомой величины (пути, времени или скорости движения), мы получаем формулу для вычисления этой величины



Чтобы вычислить скорость движения мальчика относительно перрона (v_2), нужно от скорости движения электрички ($v_{эл}$) отнять скорость движения мальчика относительно электрички ($v_{отн\,2}$):

$$v_2 = v_{эл} - v_{отн\,2}.$$

Определим числовые значения искомых величин:

$$\{v_{отн\,1}\} = 8 + 3 = 11; \quad \{v_{отн\,2}\} = 8 - 2 = 6.$$

$$v_{отн\,1} = 11\,\frac{км}{ч}; \quad v_{отн\,2} = 6\,\frac{км}{ч}.$$

Ответ: относительно перрона отец движется со скоростью 11 км/ч, мальчик — со скоростью 6 км/ч.

Подводим итоги

Равномерное движение — это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути.

Скорость равномерного движения тела — это физическая величина, равная отношению пути, пройденного телом, ко времени, в течение которого этот путь был пройден: $v = \frac{l}{t}$.

Единица скорости движения в СИ — метр в секунду (м/с).

Числовое значение скорости движения зависит от того, какая единица скорости выбрана.

Направление и значение скорости движения тела зависят от того, относительно какого тела определяется скорость движения.

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют равномерным? 2. Что называют скоростью равномерного движения? 3. Как определить скорость равномерного движения тела? 4. Назовите единицы скорости движения. 5. Спидометры автомобилей проградуированы в километрах в час. Как перевести единицы скорости из километров в час в метры в секунду? 6. От чего зависят направление и значение скорости движения? 7. Как вычислить путь, пройденный телом, если известны скорость его движения и время движения?

Упражнение № 2

1. За 10 с тело преодолело 100 м, за следующие 10 с — еще 100 м. Можно ли утверждать, что тело движется равномерно?
2. Какая скорость движения больше: 16 м/с или 54 км/ч?
3. Мальчик едет на велосипеде с постоянной скоростью. Расстояние от своего дома до школьного стадиона он преодолел за 1,5 мин. Обратный путь у него занял 70 с. Куда мальчик ехал быстрее: к стадиону или домой?
4. Автопогрузчик едет с постоянной скоростью вдоль сплошного ряда контейнеров. Длина каждого контейнера — 12 м. С какой скоростью едет автопогрузчик, если мимо 5 контейнеров он проезжает за 1 мин?
5. Скорость движения самолета 900 км/ч. Сколько времени ему потребуется, чтобы преодолеть 375 км?
6. Поезд прошел 24 км за 10 мин. Какой путь пройдет поезд, если будет двигаться с такой же скоростью в течение 1,5 ч?

7. Вдоль дороги дует ветер со скоростью 5 м/с. По дороге в противоположных направлениях едут два велосипедиста: первый — со скоростью 18 км/ч навстречу ветру, второй — со скоростью 24 км/ч в направлении ветра. Определите скорость ветра относительно каждого велосипедиста.

8*. Электричка едет со скоростью 20 м/с, навстречу ей по соседней колее со скоростью 36 км/ч едет поезд. Сколько времени поезд будет проезжать мимо пассажира электрички, если длина поезда 900 м?

Экспериментальное задание

На уроке физкультуры вы сдаете различные нормативы. Узнайте какой-нибудь норматив по бегу и рассчитайте, с какой скоростью нужно пробежать дистанцию, чтобы сдать этот норматив на 12 баллов.

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (КПИ) — крупнейшее высшее учебное заведение страны — был создан в конце XIX в. Тогда на четырех отделениях института обучалось всего 360 студентов. В 1995 г. институту был присвоен статус Национального технического университета. Сегодня в КПИ 19 факультетов, на которых обучаются свыше 40 тыс. студентов. В институте работают 44 академика и члена-корреспондента НАНУ, 2500 профессоров, доцентов и преподавателей. На протяжении XX в. с институтом была тесно связана жизнь и деятельность всемирно известных ученых и инженеров: Д. И. Менделеева, И. И. Сикорского, С. П. Королева, С. П. Тимошенко, Е. А. Патона, Б. Е. Патона и многих других.

§ 3. ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

?! Наверняка вам приходилось ехать на автобусе или поезде из одного города в другой. Вспомните: транспортное средство время от времени тормозит, останавливается, потом снова набирает скорость и т. п. Можно ли назвать такое движение равномерным? Конечно, нет. Что это за движение и как его исследовать, вы узнаете из данного параграфа.

1 Различаем движения тел

В повседневной жизни мы обычно имеем дело с *неравномерным движением*. Так, если измерить расстояния, которые проходит рейсовый автобус, например, каждую минуту, то увидим, что эти расстояния будут разными, следовательно, движение автобуса не является равномерным (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Автобус движется неравномерно, время от времени тормозя, останавливаясь и снова разгоняясь

Неравномерное движение — это движение, при котором тело за равные промежутки времени проходит разные пути.

При неравномерном движении скорость тела изменяется с течением времени.

Теперь мы можем классифицировать *виды механического движения*:

- по форме траектории — *прямолинейное* и *криволинейное*;
- по зависимости скорости движения от времени — *равномерное* и *неравномерное*.

2 Определяем среднюю скорость неравномерного движения

Рассмотрим пример. Поезд прошел 150 км (расстояние между двумя станциями) за 2,5 ч. Если разделить 150 км на 2,5 ч, получим 60 км/ч — скорость движения поезда. Но поезд двигался неравномерно, поэтому мы получили не скорость равномерного движения, а *среднюю скорость движения* поезда (рис. 3.2).

Рис. 3.2. Средняя скорость движения поезда — отношение расстояния между станциями ко всему времени движения

Чтобы определить среднюю скорость движения тела, надо весь путь, пройденный телом, разделить на все время движения:

$$v_{ср} = \frac{l}{t}$$

Все время движения — это сумма времени движения тела и времени, потраченного на возможные промежуточные остановки в ходе этого движения.

3 Учимся решать задачи

Задача. Мальчик ехал на велосипеде полтора часа со скоростью 20 км/ч. Затем велосипед сломался и последний километр пути мальчик шел пешком. Определите среднюю скорость движения мальчика во время всего пути, если пешком он шел полчаса?

Дано:
$t_1 = 1{,}5$ ч
$t_2 = 0{,}5$ ч
$v_1 = 20\ \frac{км}{ч}$
$l_2 = 1$ км

$v_{ср}$ — ?

Анализ физической проблемы

Движение мальчика было неравномерным: в течение 1,5 ч он двигался со скоростью 20 км/ч; в течение 0,5 ч (1 км пути) — с меньшей скоростью. Чтобы определить среднюю скорость движения мальчика, надо определить весь путь и разделить его на все время движения.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

Воспользуемся формулой для определения средней скорости движения:

$$v_{ср} = \frac{l}{t}. \quad (1)$$

Весь путь вычислим по формуле $l = l_1 + l_2$, (2)
где $l_1 = v_1 t_1$ — путь, который мальчик проехал на велосипеде; l_2 — путь, пройденный им пешком.

Время, потраченное на путешествие: $t = t_1 + t_2$. (3)

Подставив формулы (2), (3) в формулу (1), получим уравнение для вычисления средней скорости движения мальчика:

$$v_{ср} = \frac{v_1 \cdot t_1 + l_2}{t_1 + t_2}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[v_{ср}] = \frac{\frac{км}{ч} \cdot ч + км}{ч + ч} = \frac{км}{ч}.$$

$$\{v_{ср}\} = \frac{1{,}5 \cdot 20 + 1}{1{,}5 + 0{,}5} = \frac{31}{2} = 15{,}5; \quad v_{ср} = 15{,}5 \frac{км}{ч}.$$

Проанализируем результат: мальчик ехал на велосипеде со скоростью 20 км/ч, шел пешком со скоростью $v_2 = \frac{l_2}{t_2} = 2$ (км/ч); полученная средняя скорость его движения меньше, чем 20 км/ч, и больше, чем 2 км/ч. Результат правдоподобен.

Ответ: средняя скорость движения мальчика составляла 15,5 км/ч.

Подводим итоги

Неравномерное движение — это движение, при котором тело за равные промежутки времени проходит разные пути. Все виды механического движения можно классифицировать: по форме траектории движения — на прямолинейное и криволинейное; по зависимости скорости движения от времени — на равномерное и неравномерное.

Чтобы определить среднюю скорость движения тела, нужно весь путь, пройденный телом, разделить на все время движения: $v_{ср} = \frac{l}{t}$.

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют неравномерным? 2. Перечислите виды механического движения и приведите примеры. 3. Что такое средняя скорость неравномерного движения тела? Как ее определить?

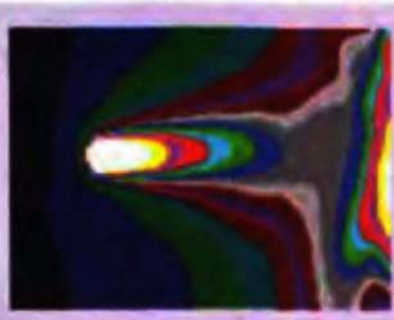
Упражнение № 3

1. Автомобиль за 2 ч проехал 80 км и еще за 2 ч — 160 км. Определите среднюю скорость движения автомобиля.

2. Поезд за 1 ч проехал 60 км. Потом он ехал еще 0,5 ч со скоростью 90 км/ч. С какой средней скоростью двигался поезд?
3. Мальчик шел пешком из города в деревню. Первые 4 км пути он преодолел за 1 ч, а оставшиеся 4 км его подвез на велосипеде друг, потратив на этот отрезок пути 20 мин. С какой средней скоростью двигался мальчик?

Экспериментальное задание

Рассчитайте среднюю скорость, с которой вы обычно идете от дома до школы.



ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Институт технической механики (Днепропетровск) решает широкий круг вопросов, связанных с аэро- и гидродинамикой различных технических объектов. К таким объектам прежде всего относятся ракеты-носители и космические аппараты. В институте создано оборудование для испытаний и физические модели процессов, позволяющие прогнозировать поведение ракетно-космической техники на всех этапах полета.

На рисунке показаны результаты моделирования ситуации, когда космический аппарат на большой скорости входит в верхние слои атмосферы. Это явление очень похоже на то, как быстроходный катер рассекает воду. Изучение формы и цвета «волн», расходящихся от космического аппарата, дает возможность ученым создавать усовершенствованные конструкции аппаратов.

Фундаментальные разработки специалистов института находят применение не только в области ракетно-космической техники, но и в железнодорожном транспорте, машиностроении, теплоэнергетике и др.

§ 4. ГРАФИКИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

?! Из курса математики вы уже знакомы с понятием графика функции. График делает более наглядной зависимость одной величины от другой. Используют графики и в физике. О том, как с помощью графика проиллюстрировать, например, зависимость пути или скорости от времени, вы узнаете из материала данного параграфа.

1 Строим графики зависимости пути от времени при равномерном движении

Из формулы для расчета пути при равномерном движении тела $l = vt$ следует: во сколько раз увеличится время движения тела, во столько же раз увеличится пройденный им путь. Это — прямая пропорциональная зависимость, которую в математике записывают уравнением $y = kx$ и называют *линейной функцией*. Напомним: для построения графика такой функции необходимо найти значение y хотя бы для двух произвольно выбранных значений x

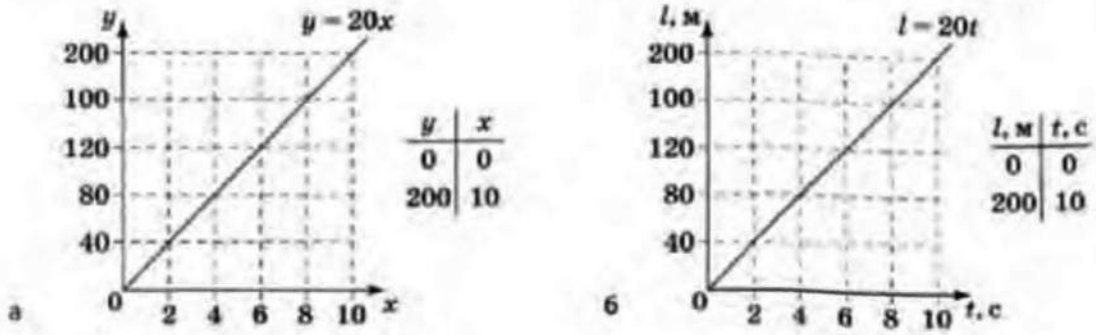


Рис. 4.1. *а* — график функции $y = 20x$; *б* — график зависимости пути от времени при равномерном движении тела со скоростью 20 м/с: $l = 20t$

(например, на рис. 4.1, *а* показан график функции $y = 20x$).

Пусть автомобиль движется равномерно со скоростью 20 м/с. Построим график $l = 20t$ (рис. 4.1, *б*). Это будет график зависимости пути от времени, или просто график пути автомобиля при равномерном движении: по нему можно определить, какой путь проехал автомобиль за любой промежуток времени. График пути равномерно движущегося поезда, который за 8 с проезжает 80 м, будет иметь похожий вид (рис. 4.2). *График пути в случае равномерного движения — это всегда отрезок прямой.*

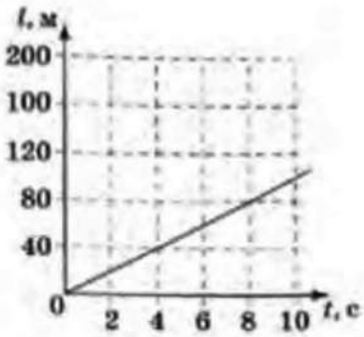


Рис. 4.2. График пути поезда, движущегося с постоянной скоростью 10 м/с

По графикам зависимости пути от времени для равномерно движущихся тел можно сравнивать скорости движения этих тел. Изобразим на одном рисунке графики зависимости пути от времени для упомянутых выше автомобиля и поезда (рис. 4.3).

Мы видим, что за одинаковое время, например за 4 с, автомобиль преодолел расстояние 80 м, а поезд — 40 м, следовательно, скорость движения автомобиля больше скорости движения поезда. Отметим: *если на одном рисунке разместить графики путей равномерно движущихся тел, то график пути тела, движущегося с большей скоростью, будет иметь больший наклон, то есть будет расположен над графиком пути тела, движущегося с меньшей скоростью.*

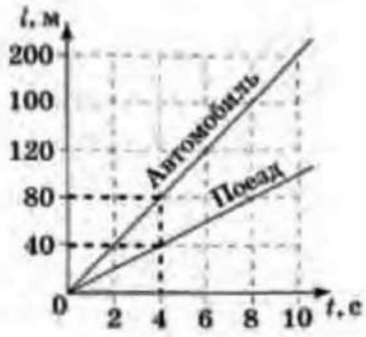


Рис. 4.3. Автомобиль движется быстрее поезда — за один и тот же промежуток времени он проходит больший путь

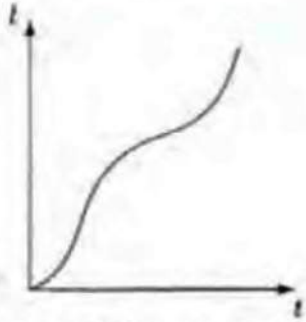


Рис. 4.4. Пример графика пути при неравномерном движении

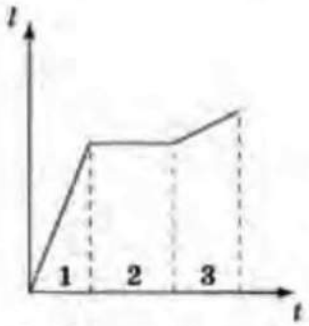


Рис. 4.5. Неравномерное движение может складываться из участков равномерного движения

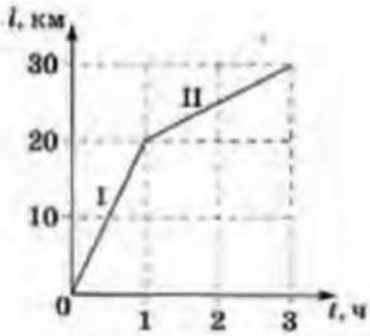


Рис. 4.6. Участки I и II — участки равномерного движения трактора

2 Строим графики путей для неравномерного движения

График пути для неравномерного движения строить значительно сложнее. В общем случае он может иметь вид кривой линии (рис. 4.4). При этом следует отметить, что значение пути не может уменьшаться, поэтому график пути — это линия, которая поднимается или остается горизонтальной, но никогда не опускается.

Если путь неравномерно движущихся тел состоит из участков, на которых тело двигалось равномерно, график пути имеет достаточно простой вид. Как именно тело двигалось на отдельном участке пути, можно определить, проанализировав соответствующий участок графика. Так, тело, график движения которого изображен на рис. 4.5, сначала двигалось достаточно быстро и с постоянной скоростью (промежуток времени *1*), затем не двигалось совсем (промежуток времени *2*), а затем продолжило движение с постоянной скоростью (промежуток времени *3*), однако движение было медленнее, чем вначале (на промежутке времени *1*).

3 Находим скорость движения по графику пути

На рис. 4.6 изображен график пути, пройденного трактором за 3 ч. По графику видим, что весь путь состоит из двух участков, на каждом из которых трактор двигался равномерно, и что на участке I скорость движения трактора была больше, чем на участке II.

Согласно графику длина участка I составляет 20 км, и трактор прошел его за 1 ч, следовательно, скорость его движения составляла:

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

Участок II длиной 10 км (от отметки 20 км до отметки 30 км) трактор прошел за 2 ч (от отметки 1 ч до отметки 3 ч). Соответственно скорость движения трактора на участке II составляла:

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

Чтобы определить среднюю скорость движения трактора, нужно *весь путь*, который проехал трактор (30 км), *разделить на все время движения* (3 ч). Следовательно, средняя скорость трактора:

$$v_{ср} = \frac{l_I + l_{II}}{t_I + t_{II}} = \frac{30\ км}{3\ ч} = 10\frac{км}{ч}.$$

4 Строим графики скоростей движения и определяем путь, пройденный телом

Построим график зависимости скорости движения от времени для тела, движущегося равномерно со скоростью 25 м/с. Поскольку скорость движения тела не меняется, график будет иметь вид отрезка прямой, параллельной оси времени (рис. 4.7).

Вычислим путь, пройденный телом, например, за 15 с:

$$l = v \cdot t = 25\frac{м}{с} \cdot 15\ с = 375\ м.$$

Этот путь можно вычислить и по-другому. Выделим под графиком прямоугольник со сторонами, «ограниченными» отметками 25 м/с и 15 с. Вычислим числовое значение площади прямоугольника: $25 \times 15 = 375$. Она численно будет равна пути, который прошло тело за 15 с со скоростью 25 м/с.

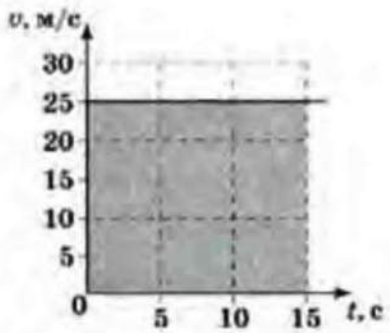


Рис. 4.7. Площадь прямоугольника под графиком скорости равномерно движущегося тела численно равна пути этого тела

Таким образом, *числовое значение пути, пройденного телом при равномерном движении, равно числовому значению площади фигуры под графиком скорости*. Это свойство присуще графикам скоростей в случае *не только равномерного, но и неравномерного движения*.

На рис. 4.8 изображен график скорости движения тела, скорость которого равномерно увеличивается: в течение 15 с скорость движения линейно изменяется от 0 до 30 м/с. Чтобы определить путь, пройденный телом, например, за 15 с, нужно вычислить площадь заштрихованного треугольника. Из рисунка видим, что этот треугольник представляет собой половину прямоугольника с «высотой» 30 м/с и «основанием» 15 с, следовательно, его площадь составляет половину площади указанного прямоугольника. Таким образом, числовое значение площади треугольника: $30 \cdot 15 : 2 = 225$ — совпадает с числовым значением пути, который прошло тело за 15 с. Следовательно, путь, пройденный телом за 15 с, равен 225 м.

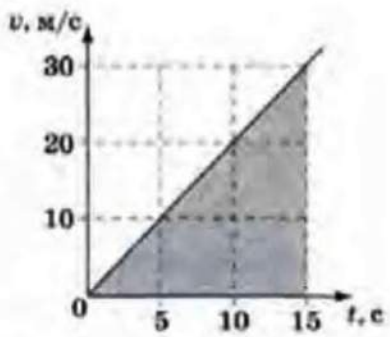


Рис. 4.8. По графику скорости можно вычислить путь, пройденный телом во время неравномерного движения

Подводим итоги

График пути при равномерном движении — отрезок прямой. График пути при неравномерном движении — кривая или ломаная линия. По графикам путей можно рассчитывать значения скоростей движения тел, сравнивать их.

График скорости при равномерном движении — отрезок прямой, параллельной оси времени.

Числовое значение пути, пройденного телом, равно числовому значению площади фигуры под графиком скорости движения.

Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет график зависимости пути от времени при равномерном движении? при неравномерном? 2. Как по графикам путей сравнить скорости движения тел? 3. Может ли график пути с течением времени приближаться к оси времени? 4. Какой вид имеет график скорости движения в случае равномерного движения? 5. Как по графику скорости движения определить пройденный телом путь?

Упражнение № 4

1. Мальчик ехал на велосипеде 90 с со скоростью 5 м/с. Постройте график пути мальчика.
2. На рис. 1 изображены графики путей для пешехода, велосипедиста и трактора, движущихся со скоростями 4, 12 и 24 км/ч соответственно. Какой из изображенных графиков какому телу соответствует?
3. Пешеход шел 1,5 ч со скоростью 5 км/ч. Постройте график скорости движения пешехода.
4. Автобус ехал 2 ч со скоростью 60 км/ч, а затем еще 1 ч — со скоростью 80 км/ч. Постройте график пути автобуса. Определите среднюю скорость его движения.
5. По графику пути поезда, двигавшегося неравномерно (рис. 2), выясните: а) путь, который проехал поезд за 9 ч; б) длину каждого из участков, на которых поезд двигался равномерно; в) скорость движения поезда на этих участках; г) среднюю скорость движения поезда за все время наблюдения.

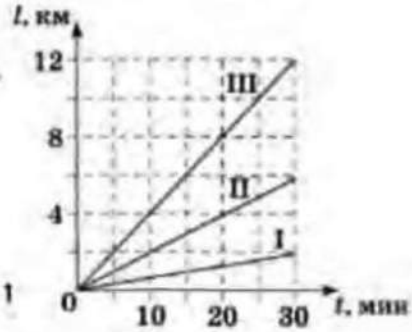


Рис. 1

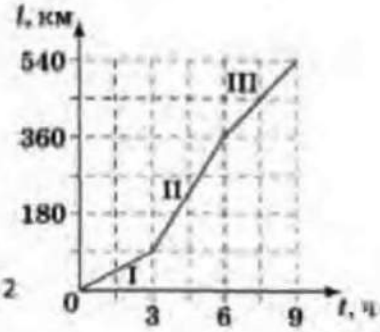
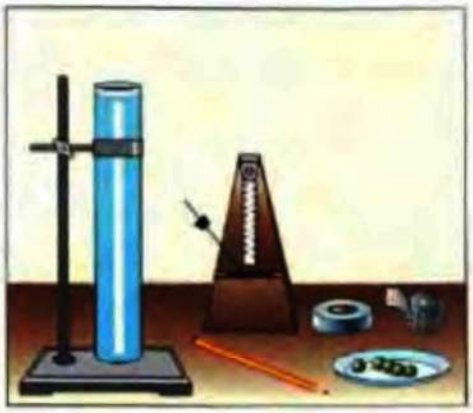


Рис. 2

Экспериментальное задание

Вместе с другом проведите такой опыт. Пусть ваш друг перемещает равномерно по столу лист бумаги, а вы в это время, равномерно двигая карандаш, попробуйте провести на листе линию, перпендикулярную направлению движения листа. Повторите опыт, на этот раз двигая карандаш неравномерно. Сравните форму полученных линий. Сделайте вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1



Тема. Измерение скорости движения тела.

Цель: научиться определять скорость движения тела.

Оборудование: стеклянный цилиндр высотой не менее 50 см, сосуд с водой, метроном (один на класс), штатив с муфтой и кольцом, несколько горошин, мерная лента, узкая полоска бумаги, длина которой равна высоте стеклянного цилиндра, скотч, карандаш.

Теоретические сведения

Скорость падения тела в жидкости сначала увеличивается, а со временем, после прохождения определенного расстояния, становится постоянной и далее не изменяется. Это «определенное расстояние» зависит от свойств жидкости и тела; отметим, что горошина диаметром 4–5 мм, до того как ее скорость в воде станет постоянной, пройдет расстояние, приблизительно равное 10 см.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы:
   1) Какое движение называют равномерным?
   2) Что такое скорость равномерного движения тела? средняя скорость движения тела? По каким формулам их определяют? Каковы единицы скорости движения в СИ?
   3) Каким прибором можно измерить пройденный телом путь?
   4) Что такое метроном и как им пользоваться?
   5) Какие меры безопасности необходимо соблюдать во время работы со стеклянным цилиндром?
2. Определите цену деления шкал измерительных приборов.
3. Настройте метроном на 60 ударов в минуту.
4. Вдоль стеклянного цилиндра закрепите скотчем полоску бумаги.
5. Поставьте цилиндр в кольцо штатива, наполните цилиндр водой.
6. Отмерьте от верхнего края воды в цилиндре 10 см вниз и сделайте соответствующую отметку на бумажной полоске.

Эксперимент

1. Возьмите горошину и поднесите ее к поверхности воды в цилиндре.
2. Одновременно с ударом метронома отпустите горошину.

3. Под удары метронома (то есть каждую секунду) отмечайте на полоске бумаги, закрепленной на цилиндре, положение горошины, пока горошина не опустится на дно цилиндра.
4. Измерьте расстояния между соседними отметками. Обратите внимание: каждое расстояние будет равно пути, пройденному горошиной на определенном участке. Измерьте также весь путь горошины от поверхности воды до дна цилиндра.
5. Результаты измерений занесите в таблицу.

Участок / Физическая величина	I	II	III	IV	V	Весь путь	
Путь l, м						$l_{общ}$, м	
Время движения t, с	1	1	1	1	1	$t_{общ}$, с	
Скорость v, м/с						$v_{ср}$, м/с	

Обработка результатов эксперимента

1. Убедитесь в том, что расстояния между отметками, расположенными ниже отметки 10 см, приблизительно одинаковы, то есть в том, что горошина двигалась равномерно.
2. Зная расстояния между соседними отметками и время, за которое горошина проходит эти расстояния, определите скорость (или среднюю скорость) горошины на каждом участке движения по формуле $v = \frac{l}{t}$.
3. Определите среднюю скорость движения горошины на всем пути: $v_{ср} = \frac{l_{общ}}{t_{общ}}$.
4. Результаты вычислений занесите в таблицу.

Анализ эксперимента и его результатов

Проанализируйте результаты эксперимента. Сделайте вывод, в котором укажите, какие виды движения вы сегодня изучали, какие величины определяли, какие результаты получили и какие факторы повлияли на их точность.

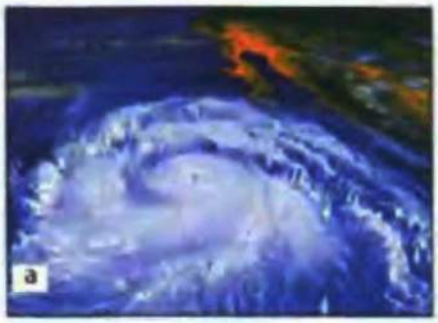
Творческое задание

Постройте график зависимости пути, пройденного горошиной, от времени ее движения. Для этого: вычислите путь, пройденный горошиной ниже отметки 10 см, за одну, две и так далее секунды; полученные результаты занесите в таблицу; по данным таблицы постройте график зависимости $l(t)$.

Время t, с	0	1	2	3	4	5
Путь l, м	0					

§ 5. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ. ПЕРИОД И ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ. ЛУНА — ЕСТЕСТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ

?! Вращательное движение очень распространено: вращается, образуя водовороты, вода в реках и океанах, вращаются планеты вокруг звезд, а звезды — вокруг друг друга и вокруг центра Галактики, вращаются стрелки часов (рис. 5.1, 5.2), колеса автомобилей, винты самолетов, лопасти вертолетов и т. п. В данном параграфе вы познакомитесь с вращательным движением с точки зрения физики.



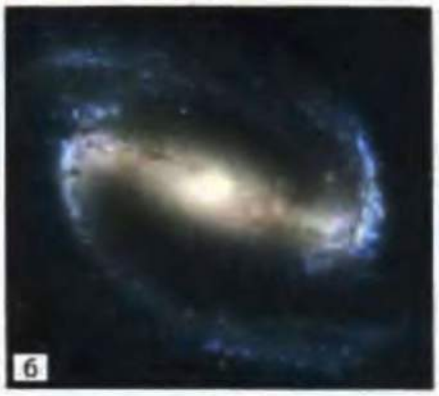


Рис. 5.1. Примеры вращательного движения в природе: атмосферный циклон *(а)*; движение звезд вокруг центра Галактики *(б)*

1 Наблюдаем вращательное движение

Рассмотрим движение стрелок часов. Точки каждой стрелки движутся по окружностям, центры которых расположены на одной прямой — на *оси вращения* (см. рис. 5.2). *Стрелки осуществляют полный оборот*, то есть поворачиваются вокруг оси на 360°, *за определенное время*: часовая — за 12 часов, минутная — за час, а секундная — за минуту,— а потом движение стрелок повторяется. Движение стрелок часов является примером *вращательного движения*.

Вращательное движение имеет характерные особенности: во-первых, *траектории точек вращающегося тела являются окружностями*; во-вторых, *вращательное движение тела повторяется через определенные промежутки времени*.

Простейшим из вращательных движений является *равномерное вращательное движение*, то есть *движение, во время которого точки тела движутся по окружностям и значение скорости движения каждой точки тела не меняется с течением времени*.

Примеры равномерного вращательного движения: вращение Земли вокруг своей оси; вращение барабана стиральной машины во время отжимания белья и т. д.

А вот вращение колеса велосипеда чаще неравномерно: скорость движения точек колеса то увеличивается, то уменьшается в зависимости от скорости движения.

Рис. 5.2. Стрелки часов совершают вращательное движение

2 Определяем период вращения

При равномерном вращении каждый полный оборот тело осуществляет за определенный промежуток времени, который называют *периодом вращения* (рис. 5.3).

Период вращения — это физическая величина, равная времени, за которое равномерно вращающееся тело осуществляет один полный оборот.

Период вращения обозначают символом T.

Единица периода вращения в СИ — **секунда** (с).

Если период вращения тела равен 1 с, *то это означает, что тело за одну секунду совершает один полный оборот.*

Для определения периода вращения T следует подсчитать количество полных оборотов N, совершенных вращающимся телом за время t, а потом вычислить период вращения по формуле

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

3 Выясняем связь между частотой и периодом вращения

При исследовании вращательного движения случается, что для его описания целесообразно использовать не период вращения, а *частоту вращения*.

Частота вращения — это физическая величина, численно равная количеству оборотов в единицу времени.

Обозначают частоту вращения символом n и вычисляют по формуле

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

Единица частоты в СИ — **оборот в секунду** (об/с или 1/с) (см., например, рис. 5.4). Из формул для определения периода и частоты вращения можно получить зависимость частоты от периода вращения. Поскольку $T = \frac{t}{N}$, а $n = \frac{N}{t}$, то понятно, что

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

Уменьшение периода вращения влечет за собой пропорциональное увеличение частоты вращения, и наоборот.

4 Изучаем движение Луны — естественного спутника Земли

Одна из важнейших причин, побуждавших людей изучать Солнце и Луну,— потребность в измерении времени, то есть в сравнении продолжительности хода естественных или искусственных явлений с продолжительностью определенных периодических процессов.

Такими периодическими процессами для наших предков были изменения на небосклоне: восход и закат Солнца, изменение фаз Луны, вида звездного неба. Все эти изменения вызваны вращениями — Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, Луны вокруг Земли. Таким образом, *периодичность вращательного движения дает возможность измерять время.*

Наблюдения за восходом и закатом Солнца, обусловленными вращением Земли вокруг своей оси, привели к возникновению понятий *дня* и *ночи*, а также естественной единицы времени — *суток*.

Свыше 5000 лет тому назад жрецы древнего Вавилона по изменению фаз Луны определяли такие известные нам промежутки времени, как *месяц* и *неделя*. Было подмечено, что на протяжении 29,5 суток Луна проходит полный цикл изменения фаз — новолуние, первую четверть, полнолуние, последнюю четверть (это обусловлено движением Луны вокруг Земли). Указанный цикл составлял один *лунный месяц* (рис. 5.5). Жрецы разделили лунный месяц на четыре почти равные части и получили семь дней. Так возникло понятие недели.

Рис. 5.3. Период вращения Земли вокруг своей оси — 24 часа

Рис. 5.4. Частота вращения лопастей вентиляторов в современных компьютерах составляет 50–60 оборотов в секунду

Подводим итоги

Равномерное вращательное движение — это движение, при котором точки тела движутся по окружностям и значение скорости движения каждой точки не меняется с течением времени.

Период вращения — это физическая величина, равная времени, за которое равномерно вращающееся тело осуществляет один полный оборот: $T = t / N$. Единица периода вращения в СИ — секунда.

Рис. 5.5. В древности начало и конец месяца определяли по фазам Луны

Частота вращения — это физическая величина, равная количеству оборотов в единицу времени: $n = N / t$. Единица частоты вращения в СИ — оборот в секунду.

Период вращения T и частота вращения n связаны зависимостью: $n = 1 / T$.

Время, за которое происходит полное изменение фаз Луны, называют лунным месяцем. Четверть лунного месяца — неделя.

Контрольные вопросы

1. Что называют равномерным вращательным движением? 2. Что такое период вращения и как его определяют? 3. Что такое частота вращения? 4. Как определить частоту вращения, если известен период вращения? 5. Наблюдения за каким процессом привели к появлению таких единиц измерения времени, как месяц и неделя?

Упражнение № 5

1. За 18 с колесо автомобиля сделало 24 оборота. Определите период вращения колеса.
2. Какова частота вращения патрона электродрели, если за минуту он делает 900 оборотов?
3. Лопасти вентилятора делают один полный оборот за 0,2 с. Какова частота их вращения?
4. Частота вращения колеса велосипеда равна 5 об/с. Каков период его вращения?
5. Кулер микропроцессора персонального компьютера вращается с частотой 3600 об/мин. С каким периодом он вращается?

Экспериментальные задания

1. Вычислите период и частоту вращения деталей некоторых бытовых приборов: колеса швейной машины, барабана стиральной машины, лопастей вентилятора кондиционера и т. п.
2. Определите скорости равномерного движения концов секундной и минутной стрелок часов. Вспомните, что траекториями движения этих тел являются окружности, а длина окружности вычисляется по формуле $l = 2\pi R$.

Н. П. Барабашов возле телескопа собственной конструкции

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Выдающийся украинский ученый-астроном **Николай Павлович Барабашов** (1894–1971) всю свою жизнь (за исключением периода Великой Отечественной войны) жил в Харькове. Мировую известность ему принесли исследования Марса и Венеры. В частности, Н. П. Барабашов открыл так называемые «полярные шапки» на Марсе, обнаружил кристаллы льда в атмосфере Венеры. Ученый внес огромный вклад в исследование Луны. Еще задолго до первых космических полетов на нее Н. П. Барабашов выдвинул гипотезу о составе горных пород на Луне. Позже эта гипотеза нашла блестящее подтверждение. Кроме изучения состава поверхности Луны, ученый создал атлас обратной стороны этого естественного спутника Земли.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема. Измерение частоты вращения тел.
Цель: исследовать равномерное вращательное движение колеса игрушечного автомобиля, определить частоту и период его вращения.
Оборудование: игрушечной автомобиль с подвижными колесами, секундомер, мел.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы:
   1) Какое движение называют равномерным вращательным?
   2) По какой формуле определяют период равномерного вращательного движения тела? его частоту? Каковы единицы периода и частоты вращения?
2. Сделайте отметку мелом на одном из колес автомобиля.

Эксперимент

Результаты измерений сразу же заносите в таблицу.

1. Медленно и как можно равномернее передвигайте автомобиль по поверхности стола. При этом колеса автомобиля будут осуществлять вращательное движение в вертикальной плоскости относительно корпуса автомобиля.
2. Измерьте время t, за которое колесо осуществит 10–15 полных оборотов.
3. Повторите опыт еще раз, увеличив скорость движения автомобиля.

Номер опыта	Время вращения t, с	Количество оборотов N	Период вращения T, с	Частота вращения n, об/с
1				
2				

Обработка результатов эксперимента

1. Вычислите период и частоту вращения колеса автомобиля для каждого из двух опытов.
2. Результаты вычислений занесите в таблицу.

Анализ результатов эксперимента

Проанализировав эксперимент, сделайте вывод, в котором укажите, какой вид движения вы сегодня изучали, какие величины вычисляли и какие результаты получили. Сравните частоту и период вращения колес при различной скорости движения автомобиля.

Творческое задание

Замените игрушечный автомобиль, с которым вы проводили эксперимент, другим — с колесами меньшего или большего диаметра. Экспериментально выясните, как будут отличаться частоты вращения колес этих двух автомобилей при условии одинаковой скорости их движения.

§ 6. КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ. АМПЛИТУДА, ПЕРИОД И ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ. МАЯТНИКИ

?! Жители древних Месопотамии, Египта, Китая, наблюдая за Солнцем и Луной, придумали единицы времени: год, месяц, сутки и др. Были созданы солнечные часы, потом появились водяные. Однако настоящая революция в конструкции часов произошла после выяснения свойств колебательного движения. Каких именно — узнаете из этого параграфа.

1 Знакомимся с колебаниями

Если груз, подвешенный на нити, отклонить от положения равновесия в сторону, а потом отпустить, то он будет двигаться от одного крайнего положения к другому, повторяя это движение через определенный промежуток времени. Такое движение является примером *колебаний*.

Колебания — это движения, повторяющиеся через одинаковые промежутки времени.

Колебания и равномерное вращательное движение имеют важную *общую* черту: *и вращения, и колебания периодически повторяются* (рис. 6.1).

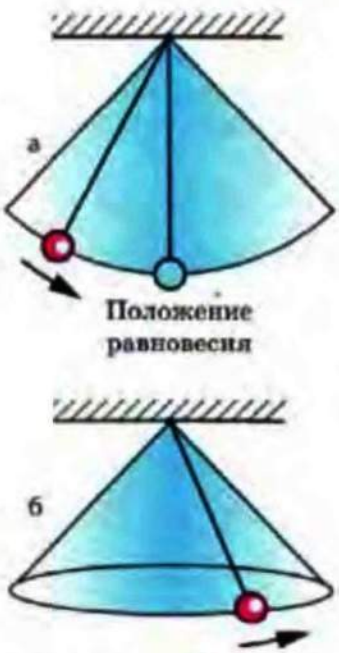


Рис. 6.1. Колебательное *(а)* и вращательное *(б)* движения очень похожи

2 Изучаем маятники

Вы уже знакомы с метрономом — прибором для отмеривания промежутков времени (рис. 6.2). Вспомним, что в метрономе есть металлическая ножка с небольшим подвижным грузом, способная осуществлять разные по частоте колебания относительно своего нижнего

конца. Эта ножка с грузом — пример *маятника*.

Маятник — это твердое тело, осуществляющее колебания вокруг неподвижной точки.

Маятники, колеблющиеся под влиянием притяжения к Земле, называют *физическими маятниками* (рис. 6.3). Колебания таких маятников зависят от их массы и геометрических размеров.

Маятники, в которых тело колеблется под действием пружины, называют *пружинными маятниками* (рис. 6.4). Колебания пружинного маятника зависят только от свойств пружины и массы подвешенного на ней тела.

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

Рис. 6.2. Метроном — прибор для отмеривания промежутков времени — обычно используют во время занятий музыкой

Рис. 6.3. Простейший пример физического маятника

Рис. 6.4. Пример пружинного маятника: если тело, подвешенное на пружине, слегка толкнуть вниз, оно начнет колебаться

3 Создаем математический маятник

Подвесим на ленте достаточно тяжелый предмет, например книгу. Если отклонить книгу в сторону, то она начнет колебаться — то есть мы получили физический маятник. Однако изучить свойства такого маятника довольно сложно: они определяются размерами книги, длиной ленты, свойствами самой ленты и другими факторами (рис. 6.5, *а*).

Чтобы размеры тела, совершающего колебания, не влияли на свойства маятника, следует взять нить, длина которой будет достаточно большей по сравнению с размерами тела. В таком случае тело можно считать материальной точкой. При этом нить должна быть легкой и тонкой, а чтобы во время колебаний тело все время было на одинаковом расстоянии от точки подвеса,— нерастяжимой. Таким образом будет создана *физическая модель — математический маятник*.

Математический маятник — материальная точка, подвешенная на тонкой, невесомой и нерастяжимой нити.

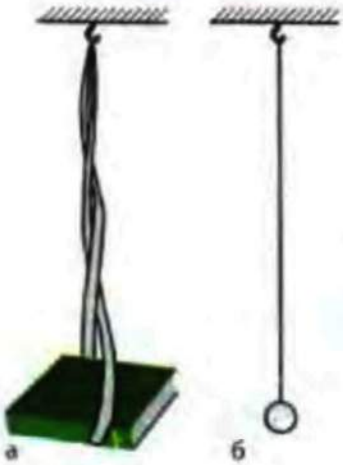


Рис. 6.5. Удобен ли для изучения колебаний «книжный» маятник *(а)*? Конечно нет: во время колебаний лента будет натягиваться неравномерно и книга будет раскачиваться «зигзагами». Металлический шарик на длинной суровой нити *(б)* больше подходит для изучения основных свойств колебаний

Маятником, на колебания которого не будут влиять размеры тела и свойства нити, вполне может служить небольшой металлический шарик диаметром 1–2 см, подвешенный на тонкой суровой нити длиной 1–2 м (рис. 6.5, *б*). Колебания такого маятника вы исследуете в ходе выполнения лабораторной работы № 3.

4 Узнаем, что такое амплитуда колебаний

Легко заметить, что существует некое *максимальное расстояние*, на которое отклоняется от положения равновесия колеблющееся тело (например, груз на ножке метронома) (рис. 6.6). Это — *амплитуда колебаний*.

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

Амплитуду колебаний обозначают символом *A*. *Единица амплитуды колебаний в СИ* — **метр** (м).

За одно **полное колебание** тело проходит путь, равный *четырем амплитудам* (рис. 6.7).

5 Определяем, что такое период и частота колебаний

Мы уже говорили о том, что вращательное и колебательное движения похожи,— и те, и другие повторяются. Это означает, что для описания колебаний тоже можно использовать понятия периода и частоты.

Период колебаний — это физическая величина, равная времени, за которое осуществляется одно полное колебание.

Как и период вращения, период колебаний обозначают символом T и вычисляют по формуле

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

Частота колебаний — это физическая величина, численно равная количеству полных колебаний, совершаемых телом в единицу времени.

Рис. 6.6. На фотографии видно, на сколько отклоняется от положения равновесия маятник метронома во время колебаний

Частоту колебаний обозначают символом ν («ню») и вычисляют по формуле

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

Единица частоты колебаний в СИ — **герц** (Гц); она названа так в честь выдающегося немецкого физика *Генриха Герца* (рис. 6.8).

Если за 1 с *тело совершает одно полное колебание, то частота его колебаний равна*

$$1\,\text{Гц} = \frac{1}{\text{с}}.$$

Частота ν и период колебаний T связаны между собой зависимостью:

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

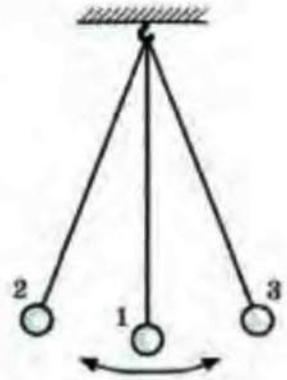


Рис. 6.7. Движение тела из точки *1* в точку *2*, затем (через точку *1*) в точку *3* и снова в точку *1* — это одно полное колебание

6 Различаем затухающие и незатухающие колебания

Если какой-либо маятник — физический, математический или пружинный — вывести из состояния равновесия, то он начнет колебаться. Такие колебания называют *свободными*.

Если маятник оставить в покое, то спустя некоторое время амплитуда его колебаний заметно уменьшится, а затем колебания прекратятся совсем.

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

Например, затухают с течением времени свободные колебания качелей, колокола, струн гитары. *Свободные колебания всегда затухающие.*

Если на тело периодически воздействовать каким-либо другим телом, то колебания станут *вынужденными* и будут продолжаться все время воздействия, то есть не будут затухать.

Колебания, амплитуда которых не меняется с течением времени, называют **незатухающими**.

Например, пока работает механизм швейной машины, игла осуществляет *вынужденные незатухающие* колебания (рис. 6.9).

Рис. 6.8. Генрих Рудольф Герц (1857–1894) — немецкий физик, один из основоположников электродинамики

Рис. 6.9. Колебания иглы швейной машины — пример вынужденных незатухающих колебаний

Подводим итоги

Движения, повторяющиеся через одинаковые промежутки времени, называют колебаниями.

Маятник — это твердое тело, совершающее колебания вокруг неподвижной точки.

Математический маятник — материальная точка на тонкой, невесомой и нерастяжимой нити.

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

Период колебаний — это физическая величина, равная времени, за которое осуществляется одно полное колебание: $T = t / N$.

Частота колебаний — это физическая величина, численно равная количеству полных колебаний, совершаемых телом в единицу времени: $\nu = N / t$.

Единицы периода и частоты колебаний в СИ — соответственно секунда (с) и герц (Гц).

Частота и период колебаний связаны между собой зависимостью: $\nu = 1 / T$.

Различают затухающие и незатухающие, свободные и вынужденные колебания.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение колебаний. 2. Что называют маятником? 3. Какой маятник называют физическим? 4. К какому виду маятников относится тело, подвешенное на пружине? 5. Что такое математический маятник? 6. Что такое амплитуда, период, частота колебаний? 7. Как рассчитать период колебаний? частоту колебаний? 8. Какая существует зависимость между частотой и периодом колебаний? 9. Чем отличаются затухающие и незатухающие колебания?

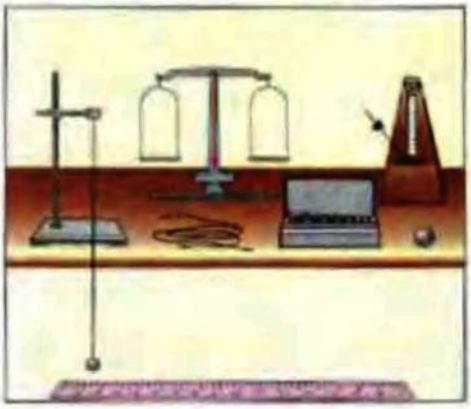
Упражнение № 6

1. Приведите примеры затухающих и незатухающих колебаний, не указанные в параграфе.
2. Колеблющееся тело движется от крайнего левого положения к крайнему правому. Расстояние между этими двумя положениями равно 4 см. Какова амплитуда колебаний?
3. За минуту маятник осуществил 30 колебаний. Вычислите период колебаний.
4. Сколько колебаний осуществит тело за 2 мин, если частота его колебаний составляет 4 Гц?
5. Поплавок, колеблющийся на воде, за 3 с всплывает и ныряет шесть раз. Определите период и частоту колебаний поплавка.
6. Определите частоту колебаний тела, если известно, что период его колебаний равен 0,5 с.
7. Амплитуда колебаний тела на пружине равна 10 см. Какой путь пройдет тело за половину периода колебаний? за два периода?

Экспериментальное задание

Исследуйте, как влияет на период колебаний небольшого тела, подвешенного на длинной суровой нити, амплитуда колебаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3



Тема. Исследование колебаний маятника.

Цель: научиться определять амплитуду, период и частоту колебаний маятника; убедиться на опыте, что частота и период его колебаний не зависят от амплитуды колебаний и массы груза, но зависят от длины нити.

Оборудование: два небольших тяжелых металлических шарика различной массы, крепкие нерастяжимые нити, линейка длиной 1 м, штатив с муфтой и лапкой, метроном или секундомер, весы с разновесами.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы:
   1) Что называют амплитудой колебаний?
   2) По какой формуле можно определить период колебаний?
   3) Что такое частота колебаний и с помощью каких формул ее можно определить?
2. Определите цену деления шкалы линейки.
3. Измерьте с помощью весов массы шариков.
4. Закрепите шарики на нитях, длина которых немногим более 1 м.
5. Установите на краю стола штатив. Возле верхнего конца штатива закрепите с помощью муфты лапку и подвесьте к ней один из шариков на нити так, чтобы длина полученного маятника составляла 1 м.
6. Передвигая муфту вдоль штатива, установите ее на такой высоте, чтобы шарик оказался на расстоянии 3–5 см от расположенной на полу линейки.

Эксперимент

1. Исследуйте зависимость периода и частоты колебаний маятника от его амплитуды. Для этого:
   1) отклоните маятник на расстояние 2–3 см от положения равновесия и отпустите; измерив время, за которое маятник выполнит 20–30 колебаний, определите период и частоту колебаний;
   2) повторите опыт, увеличив амплитуду колебаний до 5–6 см;
   3) результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

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

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

1) перенесите из табл. 1 в табл. 2 результаты опыта № 1;
2) повторите опыт для шарика другой массы, длина нити которого также равна 1 м, а амплитуда колебаний составляет 2–3 см;
3) результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.

Таблица 2

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

3. Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от длины нити. Для этого:

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

Таблица 3

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

Анализ результатов эксперимента

Проанализировав результаты, сделайте вывод, в котором укажите: какие величины вы научились измерять; какие факторы повлияли на точность полученных результатов; как период и частота колебаний маятника зависят от амплитуды колебаний, массы шарика, длины нити.

§ 7. ЗВУК. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА

?! Мы живем в океане звуков. Что представляют собой и как образуются звуки? Почему в космосе невозможно услышать грохот ракетных двигателей? Почему гром слышен позже, чем видна вспышка молнии? Для чего в студиях звукозаписи стены покрывают слоем звукопоглощающих материалов? Почему закрытое окно существенно ослабляет уличный шум? От чего зависит качество звука в концертном зале? Ответы на эти вопросы попытаемся получить в данном параграфе.

1 Прислушиваемся к звукам

Если на поверхность озера бросить камешек, то от места, где он упадет в воду, во все стороны побегут *волны*. Возникают волны потому, что в месте своего падения камешек действует на частицы воды и вызывает их колебание, а они, в свою очередь, вовлекают в движение ближайшие к ним другие частицы и т. д. То есть в данном случае *волна — это колебания, распространяющиеся в среде с течением времени*.* Частицы среды могут колебаться как перпендикулярно к направлению распространения волны, так и вдоль этого направления. Соответственно различают *поперечные* и *продольные* волны (рис. 7.1).

Волны на поверхности озера или хлебного поля можно увидеть. Некоторые волны невидимы,— например, *звуковые*. Во время распространения *звука* в воздухе движение одних молекул передается другим. Образуются поочередные сгущения и разрежения воздуха — возникает *продольная звуковая волна*, или *звук*.

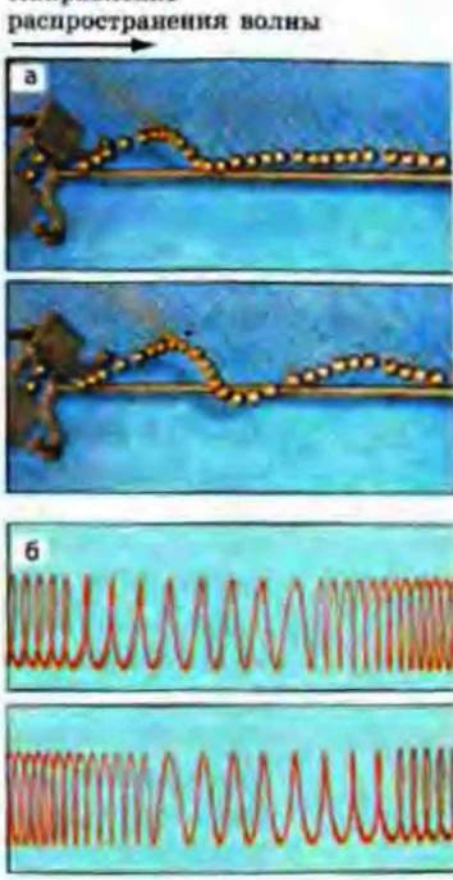


Рис. 7.1. Поперечные *(а)* и продольные *(б)* волны (модель)

2 Выясняем условие распространения звука

Поставим будильник на небольшую подушечку и поместим их под колпак воздушного насоса (рис. 7.2). Тиканье часов станет более тихим, но все равно будет слышным. Откачав с помощью насоса воздух из-под колпака, мы перестанем слышать тиканье часов. Следовательно, чтобы звук распространялся, необходима среда.

Рис. 7.2. Будильник под колпаком воздушного насоса

* Речь идет о *механических волнах*. Для распространения электромагнитных волн наличие среды не является обязательным.

Среда может быть какой угодно — воздух, вода, стекло, земля (вспомните, как в кинофильмах индейцы прикладывают ухо к земле, чтобы услышать отдаленные звуки). Таким образом, *звуковые волны — это продольные волны, распространяющиеся в газах, жидкостях и твердых телах.*

3 Узнаем о скорости распространения звука в разных средах

Свойства и состояние разных сред отличаются друг от друга, поэтому скорость распространения звуковых волн в них тоже неодинакова.

Скорость звука в воздухе вблизи поверхности Земли при температуре 20 °С составляет приблизительно 340 м/с, то есть она почти в миллион раз меньше скорости света. Именно поэтому сначала мы видим вспышку молнии, а затем слышим гром (рис. 7.3).

Впервые скорость распространения звука в воздухе измерил в 1636 г. французский ученый *Марен Мерсенн* (1588–1648).

В жидкостях звук распространяется быстрее, чем в воздухе, а в твердых телах — еще быстрее. Так, в воде звук распространяется со скоростью 1500 м/с, а в стальном рельсе — со скоростью свыше 5000 м/с.

Скорость звука зависит от температуры и других характеристик среды, в которой распространяется этот звук. Так, в воздухе и других газах скорость звука возрастает, в частности, с повышением температуры.

4 Знакомимся с рассеиванием и затуханием звука

При распространении звука в среде происходит постепенное *рассеивание и затухание звука, то есть уменьшение его громкости.*

Знание закономерностей рассеивания и затухания звука важно для определения предела дальности распространения звукового сигнала. Так, на распространение звука в атмосфере влияют температура и давление воздуха, сила и скорость ветра. В океанах на некоторых глубинах образуются определенные условия для сверхдальнего распространения звука (свыше 5000 км) — в таком случае говорят о *подводном звуковом канале.*

5 Наблюдаем отражение звука

На границе различных сред звуковая волна отражается. Это наблюдается, если, например, звуковая волна, распространяющаяся в воздухе, падает на твердую поверхность или на поверхность жидкости.

Если стать недалеко от скалы или одиноко стоящего небоскреба и хлопнуть в ладоши (или громко крикнуть), то через некоторое время можно услышать повторение звука. Это — *эхо* (рис. 7.4).

Эхо — это звук, отраженный от удаленного препятствия.

Рис. 7.3. Если гроза далеко, то раскаты грома можно услышать даже через 10–20 с после вспышки молнии

Рис. 7.4. Эхо образуется вследствие отражения звука

Если расстояние до препятствия достаточно велико, а звук короткий (удар, хлопок, вскрик), мы слышим четкое повторение звука. Если звук длинный, то эхо смешивается с первичным звуком и отраженный звук становится неразборчивым.

Эхо бывает в больших комнатах со стенами, хорошо отражающими звук, встречается и в природе — в горах или местах, где есть отдельные скальные стенки. Интересно, что в одном из рассказов Марка Твена речь идет о бизнесмене, коллекционировавшем отражения звуков,— он скупал участки, где были слышны удивительные эха.

Явление отражения звука используют, когда устанавливают шумозащитные экраны вдоль автомобильных трасс и возле аэропортов. Исследование того, как отражается, рассеивается и затухает звук в газах, жидкостях и твердых телах, дает возможность получить информацию о внутреннем строении и физическом состоянии этих сред, определить расположение *неоднородностей* внутри них.

Подводим итоги

Звуковые волны — это продольные волны, распространяющиеся в газах, жидкостях и твердых телах.

Скорость распространения звука в жидкостях выше скорости распространения звука в газах, а в твердых телах — выше, чем в жидкостях.

Причина возникновения эха — отражение звука.

Изучение рассеивания и затухания звука в различных средах дает возможность получить информацию о строении и физическом состоянии этих сред.

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют волной? **2.** Что такое звук? **3.** Назовите условия распространения звука в пространстве. **4.** В каких средах может распространяться звук? **5.** От чего зависит скорость звука? **6.** В какой среде скорость звука наименьшая, в какой — наибольшая? **7.** Какова причина возникновения эха?

Упражнение № 7

1. Если ударить молотком по одному концу длинной металлической трубы, то на другом конце будет слышен двойной удар. Почему?
2. Почему музыка и голоса певцов по-разному звучат в пустом зале и в зале, заполненном публикой?
3. Скорость пули 680 м/с. На сколько раньше пуля попадет в мишень, расположенную на расстоянии 1360 м, чем до мишени долетит звук выстрела?
4. На расстоянии 85 м от небоскреба, построенного из стекла и бетона, стоит человек. Из его рук на тротуар падает металлический предмет. Через какое время после удара человек может услышать эхо?

Экспериментальное задание

При случае измерьте промежуток времени между вспышкой молнии и раскатом грома или между ударом строительного молота и звуком этого удара. Определите приблизительное расстояние от места, где вы находитесь, до молнии или до молота.

§ 8. ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ЗВУКА. ВОСПРИЯТИЕ ЗВУКА ЧЕЛОВЕКОМ. ИНФРАЗВУК И УЛЬТРАЗВУК

?! Почему громкоговоритель, из которого звучит громкая музыка, колеблется? Что происходит в органах слуха человека, когда он воспринимает звук? Как в полной темноте летучие мыши и дельфины находят добычу? Почему человек, долгое время находящийся возле работающего производственного оборудования, часто ощущает ухудшение самочувствия? Что такое звуковое загрязнение? Попробуем ответить на эти вопросы.

1 Знакомимся с источниками и приемниками звука

Прижмем к краю стола металлическую или деревянную линейку так, чтобы один ее конец был свободным. Ударив по свободному концу линейки, увидим, что линейка начнет колебаться, и услышим звук (рис. 8.1).

Рис. 8.1. После того как конец линейки будет отпущен, линейка начнет колебаться, и мы услышим звук

Источниками звука являются различные колеблющиеся тела. Так, источниками звука могут быть мембраны наушников и струны музыкальных инструментов, диффузоры громкоговорителей (рис. 8.2), крылья комаров, части машин и механизмов, воздух внутри органных труб, духовых музыкальных инструментов, свистков и т. п. Голосовые аппараты человека и животных тоже являются источниками звука.

Звук возникает, например, вследствие обдувания ветром проводов, труб, гребней морских волн, в случае взрывов, обвалов. Работающие производственное оборудование и транспортные средства тоже являются источниками звука.

Для получения особого звука был создан *камертон*, представляющий собой металлическую «рогатку», укрепленную на коробочке, в которой отсутствует одна стенка. Когда специальным резиновым молоточком ударяют по ножкам камертона, то он издает звук, который называют *музыкальным* (рис. 8.3).

В *приемниках звука* осуществляется преобразование звука в другие сигналы, и благодаря этому звук можно воспринимать и анализировать. Приемниками звука, в частности, являются слуховые аппараты животных и человека: в них звук преобразуется в нервные импульсы. В технике в качестве приемников звука применяют специальные преобразователи, в которых звук обычно преобразуется в электрические колебания (рис. 8.4).

Рис. 8.2. В громкоговорителях звук издают колеблющиеся диффузоры

2 Различаем звуки по высоте тона и громкости

Человек способен воспринимать звуковые волны с частотой от 20 до 20000 Гц (20 кГц). Большинство животных способны различать звуки, частота которых меньше 20 Гц и больше 20 кГц.

Звуки *разной частоты* мы воспринимаем как звуки *разного тона: чем больше частота звука, тем выше тон звука, и наоборот*. Мы легко отличаем высокий тон писка комара от низкого тона гудения шмеля, различаем звучания скрипки и контрабаса.

Исследование звуков, издаваемых колеблющейся струной, проводил еще древнегреческий ученый *Пифагор* (VI в. до н. э.). Он изучал зависимость высоты тона звука от длины струны и выяснил: чем короче струна, тем выше тон.

Громкость звука определяется амплитудой звуковых волн. Чем больше амплитуда, тем громче звук. При этом звуковые волны одинаковой амплитуды, но разных частот человек воспринимает как звуки разной громкости. Человеческое ухо плохо воспринимает звуки низких (около 20 Гц) и высоких (около 20000 Гц) частот и значительно лучше — звуки средних частот (от 300 до 3000 Гц).

Рис. 8.3. Ножки камертона колеблются и издают звук

Рис. 8.4. Микрофон преобразует звуковые импульсы в электрические колебания

Рис. 8.5. Ультразвуковой излучатель, отпугивающий насекомых

Рис. 8.6. Дети слышат ультразвук, а взрослые — нет. Британские школьники устанавливают на свои сотовые телефоны рингтоны ультразвукового диапазона и на уроках обмениваются SMS — учитель этих сигналов не слышит

Рис. 8.7. Дельфины общаются и ориентируются в темноте с помощью ультразвука

3 Различаем инфразвук и ультразвук

Звуковые волны, имеющие частоту меньше 20 Гц, называют *инфразвуковыми* (от латин. *infra* — ниже, под).

Источниками инфразвука могут быть, например, мощное производственное оборудование, железнодорожный и автомобильный транспорт, промышленные кондиционеры, вентиляторы. Кроме того, колебания инфразвуковых частот возникают при взрывах, обвалах, мощных порывах ветра в горах и во время морского шторма.

Звуковые волны, частота которых выше 20 кГц, называют *ультразвуковыми* (от латин. *ultra* — свыше, за пределами, по ту сторону). Ультразвук присутствует в шуме ветра и водопадов, в звуках, издаваемых живыми существами.

4 Знакомимся с влиянием инфразвука

Инфразвук очень опасен для животных и человека. Для человека наиболее опасен инфразвук частотой 7–8 Гц.

Было доказано, что инфразвуки малой амплитуды, воздействуя на внутренние органы человека, вызывают симптомы морской болезни; инфразвуки средней амплитуды при продолжительном воздействии могут вызвать слепоту, стать причиной повышенной агрессивности; инфразвуки большой амплитуды вызывают колебания или вибрацию внутренних органов, что может привести даже к остановке сердца.

5 Узнаем об использовании ультразвука

Ультразвук воспринимают многие насекомые (сверчки, цикады) (рис. 8.5); в диапазоне частот до 100 кГц его способны воспринимать собаки и многие грызуны. Интересно, что дети, в отличие от взрослых, тоже слышат ультразвуковые сигналы (рис. 8.6).

Летучие мыши и дельфины излучают ультразвук и воспринимают его после отражения от препятствий, благодаря чему даже в полной темноте они могут найти дорогу или поймать добычу (рис. 8.7).

В клинической практике ультразвуковая локация позволяет диагностировать опухоли, выявлять наличие посторонних тел (кусочков дерева, стекла и т. п.) в тканях. Ультразвук также применяют для обеззараживания хирургических инструментов, лекарственных препаратов, рук хирургов и т. п. Широко используются разнообразные медицинские ультразвуковые процедуры, с помощью ультразвука начали проводить хирургические операции.

Ультразвук нашел свое применение и в технике — для выявления дефектов внутри сплошных тел, для сваривания деталей, очищения поверхностей от загрязнений, для измерения глубин (рис. 8.8) и др.

Рис. 8.8. С помощью ультразвука можно определить глубину моря

6 Узнаем о негативном влиянии шума на здоровье человека

Из физических факторов, отрицательно сказывающихся на здоровье человека, самый распространенный — шум. Он воспринимается как неприятные, нежелательные звуки, мешающие нормально отдыхать, работать, воспринимать информацию. Даже негромкий шум приводит к снижению трудоспособности и остроты слуха, нарушениям работы коры головного мозга, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем.

В Украине правовая основа защиты населения от шума базируется на нескольких государственных законах. Для борьбы с шумом устанавливают шумозащитные экраны, используют бесшумные механизмы, изменяют технологии производства, переносят транспортные потоки в малолюдные места. Озеленение территории снижает уличный шум на 25 % и более.

В отличие от шума спокойная, мелодичная музыка способна успокаивать, улучшать настроение, повышать тонус, даже лечить.

! Подводим итоги

Источником звука является колеблющееся тело.

Колебания с частотами от 20 до 20 000 Гц человек воспринимает как звук.

Чем больше частота звука, тем выше его тон.

Громкость звука определяется амплитудой звуковых колебаний.

Звуковые волны, частота которых меньше 20 Гц, называют инфразвуковыми.

Звуковые волны, частота которых выше 20 кГц, называют ультразвуковыми.

Шум негативно влияет на человека, снижает его трудоспособность, может стать причиной различных заболеваний.

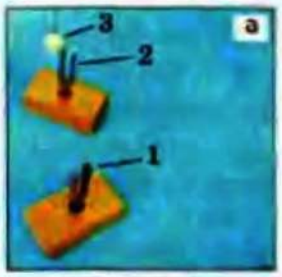
Контрольные вопросы

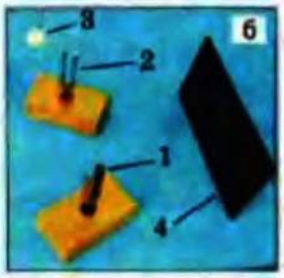
1. Приведите примеры тел, являющихся источниками звука. 2. Что такое камертон? 3. Как преобразуется звук в органах слуха? 4. Что происходит в приемниках звука? 5. Колебания какого диапазона частот человек ощущает как звук? 6. Какой физической величиной определяется высота тона? 7. Какая физическая величина определяет громкость звука? 8. Что такое инфразвук? Как он влияет на человека? 9. Как используют ультразвук дельфины и летучие мыши? 10. Почему нужно бороться с шумом?

Упражнение № 8

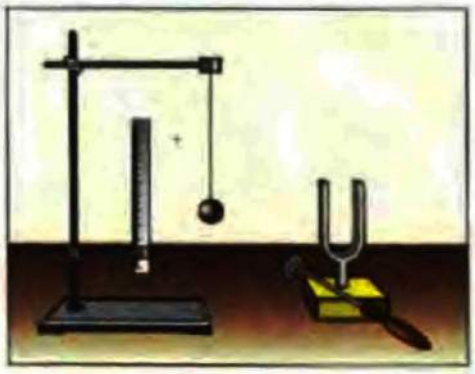
1. Почему летящего мотылька не слышно, а когда летит комар, мы слышим жужжание?
2. Чем отличаются звуки горна от звуков флейты?
3. Если постучать по доске, то слышен звук. Почему звук будет громче, если ударить сильнее?
4. Ножки камертона колеблются с частотой 440 Гц. Воспринимаем ли мы эти колебания как звук?
5. Иногда дрессировщики подают животным сигналы с помощью свистков, звук которых человек не слышит. Какой секрет кроется в этих свистках?
6. Какое явление демонстрирует опыт, представленный на рисунке? Назовите устройства, обозначенные цифрами, опишите их назначение в этом опыте.

7*. С какой точностью дельфин может определить расстояние до препятствия своим ультразвуковым локатором, если точность измерения им времени составляет 0,1 мс?





ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4



Тема. Изучение характеристик звука.

Цель: убедиться в том, что источником звука является колеблющееся тело и в том, что чем больше частота колебаний тела, тем выше звук; экспериментально доказать, что громкость звука определяется амплитудой колебаний источника звука.

Оборудование: камертон, штатив, две муфты, две лапки, легкий шарик (или бусинка) на нити, линейка длиной 30–40 см (лучше стальная).

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы:
   1) Что называют звуком и что является его источником?

2) Какие источники и приемники звука вам известны?
3) Какие характеристики звука вы знаете?

2. Подвесьте шарик к лапке штатива на такой высоте, чтобы шарик был размещен немного ниже верхнего края ножек камертона.
3. Крепко зажмите в лапке штатива конец линейки длиной 25–30 см.

Эксперимент

1. Используя подвешенный на нити легкий шарик как индикатор колебаний, докажите, что, издавая звук, камертон колеблется и что громкость звука, издаваемого камертоном, зависит от амплитуды колебаний его ножек.
Опишите свои действия и наблюдения:

Действия	Наблюдения

2. Убедитесь, что высота звука определяется частотой колебаний тела, являющегося источником звука. Для этого воспользуйтесь линейкой, зажатой в лапке штатива. Если такую линейку вывести из положения равновесия, то она начнет колебаться. При этом чем меньше длина колеблющейся части, тем выше частота колебаний. Итак:
   1) вызовите колебания свободной части линейки, которая зажата в лапке штатива; убедитесь, что при такой длине колеблющейся части линейка издает определенный звук;
   2) уменьшая длину колеблющейся части линейки, определите, как изменяется высота тона звука, издаваемого линейкой.

Анализ результатов эксперимента

Сделайте вывод, в котором укажите, какие характеристики звука вы изучили и какой физической величиной определяется та или иная характеристика звука.

Творческое задание

Продумайте и запишите план эксперимента, который позволит изучить зависимость высоты тона звука от натяжения струны. Какое оборудование вам для этого потребуется? Проведите этот эксперимент.

ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 1 «МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ»

В данном разделе вы изучили механическое движение и его характеристики, ознакомились с видами механического движения: движением по прямой, вращательным движением, колебаниями, волнами (на примере звуковых волн).

1. В разделе 1 вы узнали, что такое механическое движение.

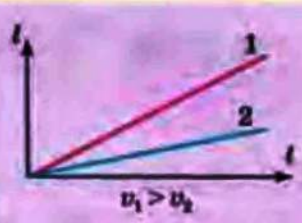
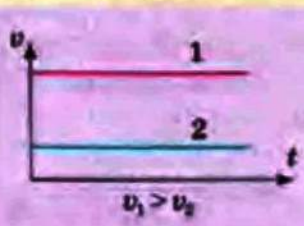
- **Механическое движение — это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.**

2. Вы научились различать виды механического движения по форме траектории и зависимости скорости движения от времени.

ВИДЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

- **По форме траектории**
  - прямолинейное
  - криволинейное
- **По зависимости скорости движения от времени**
  - равномерное
  - неравномерное

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

График пути	График скорости движения	Связь между графиком скорости движения и путем
		Путь численно равен площади фигуры под графиком скорости движения

4. Вы подробно исследовали некоторые виды механического движения.

Форма траектории	Путь	Время	Скорость движения
Прямолинейное равномерное движение			
Прямая линия	l	t	$v=\frac{l}{t}$
Прямолинейное неравномерное движение			
Прямая линия	$l=l_1+l_2+...+l_n$	$t=t_1+t_2+...+t_n$	$v_{ср}=\frac{l_1+l_2+...+l_n}{t_1+t_2+...+t_n}$

Форма траектории	Период	Частота	Путь за период
Вращательное движение			
Окружность	$T=\frac{t}{N}$, $T=\frac{1}{n}$	$n=\frac{N}{t}$, $n=\frac{1}{T}$	$l=2\pi R$, где R — радиус окружности
Колебательное движение			
Отрезок прямой, дуга окружности	$T=\frac{t}{N}$, $T=\frac{1}{\nu}$	$\nu=\frac{N}{t}$, $\nu=\frac{1}{T}$	$l=4A$, где A — амплитуда колебаний

5. На примере звука вы познакомились с физическими величинами, которые используют для характеристики волн.

ЗВУК

- **Колебания частиц среды**
  - период колебаний T
  - частота колебаний ν
    - определяет высоту тона
  - амплитуда колебаний A
    - определяет громкость звука
- **Распространение колебаний в среде**
  - скорость распространения волны v

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 1 «МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ»

Задания 1–8 имеют только один правильный ответ.

1. *(1 балл)* Поезд, направляющийся от одной станции к другой, находится в состоянии покоя относительно:
   а) центра Земли;
   б) пассажира, сидящего в кресле вагона;
   в) точек на ободе колеса;
   г) железнодорожных рельсов, по которым движется.

2. *(1 балл)* Средняя скорость движения — это физическая величина, равная:
   а) произведению пути на время движения;
   б) отношению всего времени движения ко всему пути, пройденному телом;
   в) половине суммы начальной и конечной скоростей движения;
   г) отношению всего пути, пройденного телом, ко всему времени движения.

3. *(1 балл)* Частота вращения тела — это физическая величина, численно равная:
   а) времени одного полного оборота;
   б) количеству полных оборотов в единицу времени;
   в) количеству полных оборотов;
   г) всему времени вращения.

4. *(1 балл)* Период колебаний математического маятника:
   а) зависит от длины нити;
   б) зависит от массы маятника;
   в) зависит от амплитуды колебаний;
   г) не зависит от земного притяжения.

5. *(1 балл)* Человек может воспринимать как звук волны с частотой:
   а) от 2 до 20 Гц;
   б) от 220 до 2200 кГц;
   в) от 22 до 220 Гц;
   г) от 320 до 3200 кГц.

6. *(2 балла)* Поезд движется со скоростью 40 м/с. Сколько будет длиться путешествие, если расстояние между двумя городами равно 624 км?
   а) 1 ч 34 мин; б) 4,2 ч; в) 4 ч 20 мин; г) 15,6 ч.

7. *(2 балла)* Полчаса мальчик ехал на велосипеде со скоростью 24 км/ч, а потом 6 км шел пешком со скоростью 4 км/ч. Вычислите среднюю скорость движения мальчика.
   а) 9 км/ч; б) 14 км/ч; в) 20 км/ч; г) 28 км/ч.

8. (2 балла) Чему равна частота вращения секундной стрелки часов?

а) $\frac{1}{60}\frac{1}{с}$; б) $1\frac{1}{с}$; в) $60\frac{1}{с}$; г) $3600\frac{1}{с}$.

9. *(3 балла)* Турист шел по горной тропе, двигаясь со скоростью 2 км/ч, а затем вернулся к месту своего старта, двигаясь со скоростью 6 км/ч. Какова средняя скорость движения туриста на всем пути?

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

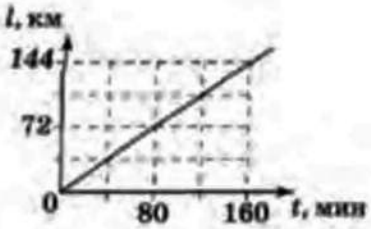


Рис. 1

11. *(3 балла)* Сколько колебаний совершит маятник часов, установленных в кают-компании судна, за время путешествия из Одессы в Керчь? Период колебаний маятника равен 1 с, расстояние от Одессы до Керчи 250 км, судно движется со скоростью 12,5 м/с.

12. *(3 балла)* Наблюдатель услышал звук артиллерийского выстрела через 6 с после того, как увидел вспышку от выстрела. На каком расстоянии от наблюдателя расположена пушка?

13. *(4 балла)* Ракета полетела к мишени со скоростью 680 м/с. Расстояние от пускового устройства до мишени составляет 3,4 км. Через какое время после старта ракеты звук взрыва долетит до пускового устройства?

14. *(4 балла)* На рис. 2 приведен график зависимости скорости движения автомобиля от времени. Определите максимальную скорость движения автомобиля и пройденный им путь.

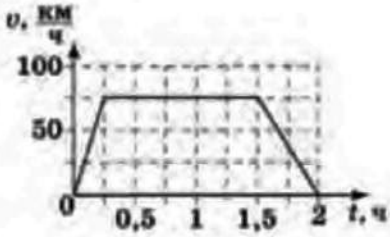


Рис. 2

15. *(5 баллов)* Автомобиль проехал 400 км. Известно, что первую половину всего времени движения он ехал со скоростью 90 км/ч; за вторую половину времени преодолел 175 км. Вычислите скорость движения автомобиля на втором участке пути. Какова средняя скорость движения автомобиля на всем пути? Считайте движение автомобиля на обоих участках равномерными.

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

Космодром в океане

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

Таким образом, инженеры-механики работают над созданием новых, усовершенствованных автомобилей и станков, инженеры-оптики — фотоаппаратов и телескопов, инженеры-электрики — аккумуляторов и электромоторов и т. п. С некоторыми примерами таких технических новинок вы уже ознакомились в курсе физики 7 класса.

Прочитав энциклопедические страницы в этом учебнике, вы убедитесь в том, что инженеру нужны знания не только по своей специальности,— он должен знать о достижениях в других областях науки и уметь их применять.

Как подальше бросить камень,
или Почему космодромы строят вблизи экватора

Большинство жителей Земли понятия не имеют, как устроены ракеты и космические станции, но почти все знают, что космос — это очень большие затраты. Знают об этом и инженеры — конструкторы ракет. И чтобы уменьшить, например, затраты по доставке грузов на орбиту, они применяют в том числе разные нетрадиционные решения. Приведем пример.

Стартовая платформа проекта «Си-Лонч»

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

Конструкторы ракет наверняка хорошо знали физику: было решено «облегчить» старт космического корабля, используя в качестве «карусели» Землю. И вот каким образом. Известно, что Земля вращается вокруг своей оси, при этом очевидно, что быстрее всего вращаются территории вокруг экватора. Запуская ракету с экватора, при прочих равных условиях на орбиту можно вывести приблизительно на 20 % больше полезного груза. Поэтому страны, имеющие соответствующие территории (Французская Гвиана, Бразилия), строят современные космодромы вблизи

экватора. А что же делать тем странам, которые расположены в средних широтах,— например, Украине?

Более 10 лет назад четыре государства (Россия, Украина, Норвегия, США) объединили свои усилия и реализовали грандиозный инженерный проект, получивший название *«Си-Лонч»* (в переводе с английского — «морской старт»). Инженеры решили: если страны не имеют сухопутной территории на экваторе, нужно осуществлять запуск ракет с морской поверхности. Как же эта идея была реализована?

Для размещения космодрома нужна значительная территория, практически целый искусственный остров. К счастью, подобные «острова» уже были созданы, правда, для других целей,— речь идет о плавучих платформах для морской добычи нефти. Свою платформу для проекта предоставила Норвегия — безусловный лидер в создании таких сооружений. В качестве ракеты-носителя была использована украинская ракета «Зенит» — одна из лучших в мире.

Корабль управления космодромом

Работает плавучий космодром следующим образом. Незадолго до старта специальный буксир транспортирует плавучую платформу к месту запуска (кстати, штаб-квартира совместной компании расположена в Калифорнии (США), откуда до экватора сравнительно недалеко). После подготовки ракеты весь персонал собирается на корабле управления, сопровождающем платформу, а запуск ракеты осуществляется в автоматическом режиме. Такое решение позволяет избежать человеческих жертв в случае чрезвычайных ситуаций.

Запуск ракеты-носителя «Зенит» с морской платформы

РАЗДЕЛ 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

§ 9. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. ИНЕРЦИЯ

?! **Вы уже умеете описывать разные виды движения тел, рассчитывать путь и скорость движения. Но почему скорость движения тела изменяется? Почему в одних случаях тело движется по прямолинейной траектории, а в других — по криволинейной? Попробуем получить ответы на эти вопросы.**

1 Знакомимся с учеными, открывшими законы механики

Почти 2500 лет назад древнегреческий философ *Аристотель* (рис. 9.1), размышляя о причинах движения тел, сделал разумный с точки зрения здравого смысла, но неправильный с точки зрения физики вывод: если на тело ничего не действует, то оно должно находиться в состоянии покоя, а для поддержания прямолинейного равномерного движения тела необходимо постоянное действие на него других тел (рис. 9.2).

Рис. 9.1. Аристотель (384–322 до н. э.), древнегреческий философ и ученый, собрал и систематизировал знания своих предшественников о природе

Такие соображения, на первый взгляд, соответствуют повседневному опыту. Однако в конце XVI ст. выдающийся итальянский ученый *Галилео Галилей* (рис. 9.3) установил, что учение Аристотеля не может правильно объяснить характер движения тел.

Дальнейшее изучение причин движения тел позволило *Исааку Ньютону* (рис. 9.4) открыть законы, которые легли в основу **классической механики** — *науки, изучающей законы механического движения*. Эти законы так и называют — **законы Ньютона**. Вы будете их подробно изучать в 10 классе.

Рис. 9.2. Наш жизненный опыт подсказывает: чтобы тележка двигалась с постоянной скоростью, ее, например, должна тащить лошадь

2 Выясняем условие движения тела с постоянной скоростью

Проведем мысленный эксперимент*. Представьте учащегося 8 класса, который, разогнавшись, скользит по бесконечно длинной ледяной дорожке. Его никто не толкает и не тянет, значит, как подсказывает нам опыт, в конце концов он должен остановиться. Однако промежуток вре-

мени от начала движения до остановки будет разным — в зависимости от внешних условий. Если, например, лед неровный или с намерзшим снегом, мальчик проедет 2–3 м; если лед гладкий, то не предел и 20 м. А если мальчик встанет на коньки, то может промчаться и сотню метров.

Размышляем дальше. Представим, что «торможение» на катке равно нулю, а учащийся, как и прежде, не испытывает никакого действия извне. В этом случае воображаемый мальчик будет скользить с постоянной скоростью по воображаемой ледяной дорожке сколь угодно долго. При этом действие катка, не дающего мальчику «провалиться», и действие Земли никуда не исчезают — они уравновешивают, компенсируют друг друга.

То есть *для поддержания прямолинейного равномерного движения не нужно постоянного действия другого тела.*

Следует отметить, что к этому выводу впервые пришел Галилей, проводивший опыты (в том числе мысленные) с шариком и желобом.

Рис. 9.3. Галилео Галилей (1564–1642), итальянский физик и астроном, ввел в научные исследования экспериментальный метод

Тело движется прямолинейно равномерно или находится в состоянии покоя лишь тогда, когда на него не действуют другие тела или действия других тел скомпенсированы.

Условие движения тела с постоянной скоростью известно в механике как **закон инерции**.

Рис. 9.4. Исаак Ньютон (1643–1727), английский физик и математик, основоположник классической механики

3 Знакомимся с инерцией

Явление, при котором тело движется равномерно и прямолинейно, называют *инерцией* (от латин. *inertia* — неподвижность, бездеятельность).

Инерция — это явление сохранения скорости (состояния движения) тела при отсутствии или скомпенсированности действий на него других тел.

В физике движение тела в идеальных условиях (когда на него вообще не действуют другие тела) называют *движением по инерции*.

---

* Эксперимент в виде размышлений в физике называют *мысленным экспериментом*. Такие эксперименты позволяют обосновать предположения, которые подтверждаются или опровергаются реальными экспериментами.

Рис. 9.5. Скольжение шайбы по льду после удара клюшкой — пример движения по инерции

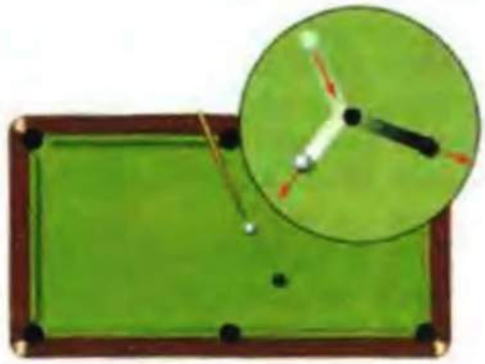


Рис. 9.6. Проявление взаимодействия тел: бильярдные шары в результате столкновений меняют значение и направление скорости своего движения

Однако в реальности невозможно создать условия, когда на тело не действуют другие тела. Поэтому *движением по инерции обычно считают случаи, когда действия на тело других тел достаточно слабые и до заметного изменения скорости движения это тело проходит значительный путь.* Например, мы называем движением по инерции скольжение шайбы по льду после удара клюшкой (рис. 9.5).

4 Наблюдаем результат действия одного тела на другое

Как будет двигаться бильярдный шар, когда на него налетает другой шар? Как будет двигаться груз, висящий на нити, если нить перерезать и действие Земли не будет уравновешено действием нити? Что будет происходить, если, стоя на коньках, вы оттолкнетесь от своего друга, который тоже стоит на коньках, и ваше действие не будет скомпенсировано сопротивлением движению со стороны льда, поскольку лед гладкий? В этих и многих других случаях *тела изменяют значение и направление скорости своего движения*: бильярдные шары полетят в разные стороны с разной скоростью (рис. 9.6); груз начнет падать с увеличивающейся скоростью; вы начнете двигаться на коньках в одну сторону, а ваш друг — в другую.

Итак, можно сделать вывод: *если действия на тело других тел не скомпенсированы, то тело изменяет скорость своего движения по значению или направлению, или одновременно по значению и направлению.*

! Подводим итоги

Условие прямолинейного равномерного движения тела — отсутствие действий на него других тел или скомпенсированность этих действий. При выполнении этого условия наблюдается инерция.

Если действия на тело других тел не скомпенсированы, то тело изменяет скорость своего движения по значению или направлению или по значению и направлению одновременно.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры взаимодействия тел. 2. Как движется тело, если на него не действуют другие тела? 3. Что называют инерцией? 4. Сформулируйте условие, при котором тело движется по инерции. 5. Что происходит с телом, когда действия на него других тел не скомпенсированы?

Упражнение № 9

1. Воздушный пузырек всплывает с постоянной скоростью со дна озера. Действия каких тел на пузырек скомпенсированы?
2. При каком условии конькобежец во время соревнований движется равномерно?
3. Можно ли движение бильярдного шара после удара считать движением по инерции? Поясните свой ответ.
4. В качестве примера движения по инерции учащийся привел движение Луны вокруг Земли. Обоснуйте или опровергните его ответ.
5*. Человек, стоя в практически неподвижной лодке на озере, бросил в направлении берега тяжелый рюкзак. Как поведет себя лодка? Поясните свой ответ.

Экспериментальное задание

Попробуйте сложить на столе стопку тонких пластиковых файлов. Файлы кладите по одному. Потом такую же стопку попробуйте сложить на поверхности, имеющей небольшой угол наклона. Проследите, как будут вести себя файлы. Объясните происходящее.

§ 10. МАССА КАК МЕРА ИНЕРТНОСТИ ТЕЛ. СИЛА

?! Чтобы охарактеризовать свойство быстро двигаться, разгоняться, в быту обычно употребляют слова «быстрый», «прыткий», «живой» и т. п. А как сравнить «прыткость» нескольких технических средств, например легковых автомобилей? Для такого сравнения была введена специальная техническая характеристика — время разгона до скорости 100 км/ч. Автомобили 1950-х гг разгонялись до этой скорости за 30–40 с, современным автомобилям требуется всего 3–8 с. А можно ли это время уменьшить до нуля — вы узнаете из данного параграфа.

1 Знакомимся с инертностью

Чтобы изменить скорость движения какого-либо тела, обязательно нужно время — скорость не может изменяться мгновенно. Так, перед тем как бросить камешек, мы некоторое время действуем на него рукой; за время движения внутри ствола ружья пуля под действием пороховых газов приобретает определенную скорость; вратарь останавливает футбольный мяч не мгновенно, а тратит на это некоторое время. Говорят, что все тела оказывают сопротивление изменению скорости их движения. В физике такое свойство тел называют *инертностью*.

Рис. 10.1. После того как тележка остановилась, кубики продолжают двигаться

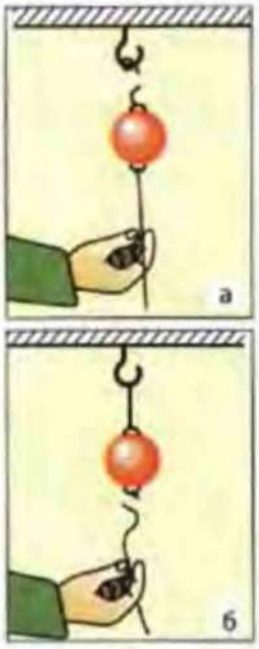


Рис. 10.2. Тело подвешено на веревке. Если медленно тянуть за веревку, привязанную к телу снизу, в конце концов порвется верхняя веревка — ведь на нее действуют тело и натянутая нижняя веревка *(а)*. Если нижнюю веревку резко дернуть вниз, то порвется только она — инертное тело не успеет за время рывка приобрести заметной скорости и разорвать верхнюю веревку *(б)*

Инертность — свойство тела, состоящее в том, что для определенного изменения скорости движения тела требуется определенное время.

Инертные свойства тела проявляются только при изменении скорости его движения (рис. 10.1, 10.2).

2 Выясняем новое о массе

Скорость движения одних тел изменить легко, других — труднее. Так, чтобы с помощью весел придать скорость легкой байдарке, нужно намного меньше времени, чем для придания такой же скорости лодке с грузом.

Инертность тел характеризуется физической величиной — *массой*. Если одно и то же действие оказать на тела разной массы, можно убедиться: чем больше масса тела, тем более оно инертно, то есть тем больше времени нужно для изменения скорости его движения на определенное значение.

Масса тела — физическая величина, являющаяся мерой инертности тела.*

Как вы уже знаете из курса физики 7 класса, для обозначения массы используют символ m. *Единица массы в СИ* — **килограмм** (кг).

3 Узнаем о связи между массами взаимодействующих тел и изменением скоростей их движения

Поставим на гладкую горизонтальную поверхность две тележки со сжатыми пружинами. Распрямляясь, пружины будут действовать на обе тележки,— те оттолкнутся друг от друга и начнут движение.

* Из курса физики 7 класса вам известно, что *масса — мера гравитационных свойств тела*. Таким образом, масса одновременно является мерой инертности и мерой гравитационных свойств тела.

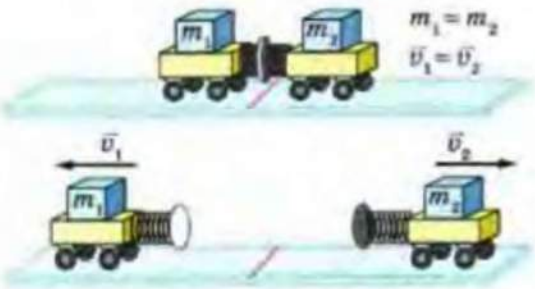


Рис. 10.3. Одинаковые тележки под действием пружин приобретут одинаковые скорости и пройдут одинаковые пути

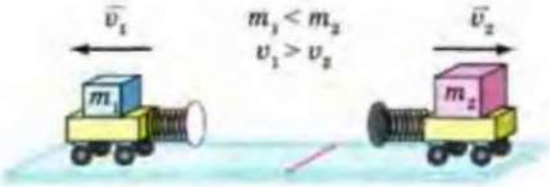


Рис. 10.4. Если тележки имеют разные массы, то под действием пружин они приобретут разные скорости и пройдут разные пути

Наблюдая за тележками, можно заметить: если тележки имеют одинаковую массу, то и скорости они приобретут одинаковые, а потому отъедут от начального положения на одинаковое расстояние (рис. 10.3); если же одна из тележек имеет бóльшую массу, то она приобретет меньшую скорость и соответственно проедет меньшее расстояние от начального положения, и наоборот (рис. 10.4).

Многочисленные опыты свидетельствуют: в случае любого взаимодействия двух тел отношение их масс обратно пропорционально отношению изменений скоростей их движения. Если обозначить массы тележек m_1 и m_2, а изменения скоростей их движения соответственно Δv_1 и Δv_2*, то получим:

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

То есть по отношению изменений скоростей движения взаимодействующих тел можно определить отношение их масс. При этом если масса одного из тел (например, m_1) известна, то можно вычислить массу второго тела (m_2).

На первый взгляд, сравнение масс взаимодействующих тел — не очень удобный способ измерения массы, однако он единственный если тело невозможно взвесить. Так были определены массы Солнца, планет Солнечной системы, двойных звезд в астрофизике, массы элементарных частичек в физике микромира и т. п.

4 Вспоминаем, что такое сила

Из курса природоведения 5 класса вам известно, что для характеристики действия одного тела на другое в физике используют соответствующую физическую величину — *силу*.

---

* Символ Δ (дельта) означает изменение физической величины, перед символом которой он стоит. Так, $\Delta v_1 = v_1 - v_{01}$, $\Delta v_2 = v_2 - v_{02}$, где v_{01} та v_{02} — скорости движения тележек до взаимодействия, а v_1 и v_2 — скорости их движения после взаимодействия.

Рис. 10.5. Взрослый теннисист способен заставить мяч лететь со скоростью движения гоночного автомобиля *(а)*; малыш не может сильно ударить по мячу и поэтому лишь немного изменит скорость его движения *(б)*

Сила — это физическая величина, которая является мерой действия одного тела на другое (мерой взаимодействия тел).

Для обозначения силы используют символ F (от англ. *force* — сила).

Единица силы в СИ — **ньютон** (Н) (в честь Исаака Ньютона).

1 Н — это сила, которая, действуя на тело массой 1 кг в течение 1 с, изменяет скорость его движения на 1 м/с.

Уже отмечалось, что причина изменения скорости движения тела — действие на него других тел. Мерой действия является сила, поэтому в физике принято говорить, что *причина изменения скорости движения тела — сила*. (Кроме изменения скорости движения, действие силы на тело является причиной изменения его формы и объема — *деформации*. Подробнее об этом вы узнаете позднее.)

Чем бóльшая сила действует на тело, тем заметнее будет меняться скорость его движения (рис. 10.5).

Чтобы тела разной массы изменяли скорости своего движения одинаково, на них должны действовать разные силы (рис. 10.6).

Подводим итоги

Масса тела является мерой инертности тела — свойства, заключающегося в том, что для определенного изменения скорости движения тела требуется определенное время. При взаимодействии двух тел отношение их масс обратно отношению изменений скоростей их движения: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}$.

Сравнение изменений скоростей движения тел при их взаимодействии позволяет измерять массы этих тел.

Рис. 10.6. Чтобы тяжелый автомобиль *(а)* мог разогнаться так же быстро, как легкий мотоцикл *(б)*, на автомобиль следует установить более мощный двигатель

Сила — это физическая величина, которая является мерой действия одного тела на другое (мерой взаимодействия тел) и служит причиной изменения скоростей движения тел и деформации тел. Сила обозначается символом F и измеряется в ньютонах.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение инертности. **2.** Что является мерой инертности? **3.** Какой зависимостью связаны отношение масс взаимодействующих тел и отношение изменений скоростей их движения? **4.** В чем заключается метод измерения массы тела при его взаимодействии с другим телом? **5.** Что называют силой? **6.** Какова единица силы в СИ?

Упражнение № 10

1. Почему во время гололедицы переход автомагистрали становится крайне опасным?
2. Когда автомобиль резко ускоряет свое движение, то водителя и пассажиров «вжимает» в спинки кресел. Почему?
3. Чтобы объехать препятствие, водитель автобуса повернул направо. В какую сторону будут двигаться пассажиры? Почему?
4. Из неподвижной игрушечной пушки массой 500 г сделан выстрел в горизонтальном направлении. Известно, что масса ядра 10 г, скорость его движения — 5 м/с. Какую скорость движения приобрела пушка после выстрела?
5. С лодки, находившейся в состоянии покоя, спрыгнул мальчик. Скорость движения мальчика составила 4 м/с. Какова масса мальчика, если лодка массой 180 кг приобрела скорость движения 1 м/с?

6*. Снаряд фейерверка был пущен вертикально вверх. В верхней точке траектории, где снаряд на миг остановился, он разорвался на две части массами 200 и 500 г. Какую скорость движения приобрел второй обломок, если первый после взрыва двигался со скоростью 50 м/с?

Экспериментальные задания

1. Вспомните о двух способах чистки ковров — выбивание пыли с помощью палки и вытряхивание резкими взмахами — и проведите соответствующий эксперимент. Чем отличаются эти два способа с точки зрения физики?
2. Проведите опыт со столкновением двух одинаковых шариков, один из которых лежит на столе, а второй на него налетает. Как изменятся скорости движения шариков?

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

История **Львовского национального университета** им. И. Франко начинается в XVII ст.: в 1661 г. польский король подписал диплом, предоставлявший иезуитской коллегии во Львове «достоинство академии и титул университета».

За прошедшие с тех пор столетия университет стал одним из самых престижных учебных заведений Украины. Сейчас здесь учится более 12 тыс. студентов; в составе профессорско-преподавательского коллектива — свыше 150 докторов наук, профессоров, около 600 кандидатов наук, доцентов.

Налажены научные связи с университетами России, Венгрии, Германии, Франции, Австрии, Бельгии, Великобритании, Канады, США и др. Особенно тесными являются контакты с польскими учебными заведениями и научными учреждениями.

§ 11. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИЛ. СЛОЖЕНИЕ СИЛ

?! Если на тело одновременно будут действовать две силы, например 5 и 3 Н, то можно получить неожиданный результат: тело будет вести себя так, будто на него действует одна сила, значение которой может быть в пределах от 2 до 8 Н. Почему? А может ли быть так, чтобы, прибавляя 10 к 10, получить 0? Ответы вы узнаете из данного параграфа.

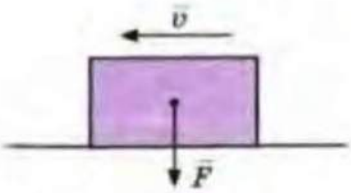


Рис. 11.1. Стрелка, которая изображает силу, действующую на тело со стороны Земли, начинается в центре тела (в точке приложения силы) и направлена в сторону действия Земли

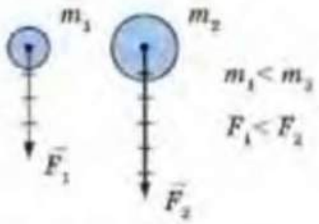


Рис. 11.2. Длины стрелок, изображающих силы, которые действуют на тела со стороны Земли, в определенном масштабе равны значениям сил

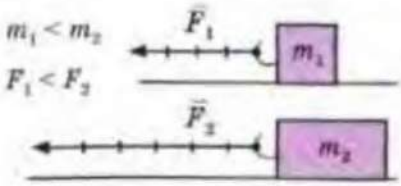


Рис. 11.3. При равномерном движении на тело меньшей массы действует меньшая сила

1 Изображаем силы

Сила, действуя на тело, изменяет скорость его движения как по значению, так и по направлению, поэтому сила определяется и значением, и направлением.

Мы уже изображали на рисунках скорости движения тел стрелками (см. рис. 2.2). Стрелками будем изображать и силы, действующие на тела, однако следует обратить внимание на некоторые отличия.

Стрелку, изображающую скорость движения, располагают рядом с телом; стрелка, которой графически изображают силу, начинается в точке, к которой приложена данная сила (эту точку так и называют — *точка приложения силы*), и направлена в сторону действия силы (рис. 11.1). Длина стрелки в определенном условном масштабе обычно соответствует значению силы. Так, на тело большей массы со стороны Земли действует бóльшая сила (рис. 11.2); чтобы равномерно тянуть по столу тело меньшей массы, к нему нужно приложить меньшую силу (рис. 11.3).

2 Складываем силы, действующие вдоль одной прямой

На тело может действовать не одна сила, а две, три или больше. Как найти результат совместного действия этих сил?

Каждая сила имеет направление, поэтому результат сложения одних и тех же сил может быть разным (в зависимости от направления сил). Разберем на примерах, как складывать две силы, действующие в одном направлении и в противоположных направлениях.

Поставим на стол тележку и привяжем к ней две нити. Потянем за одну нить с силой 5 Н, а за другую — в том же направлении — с силой 3 Н. Тележка начнет двигаться, опре-

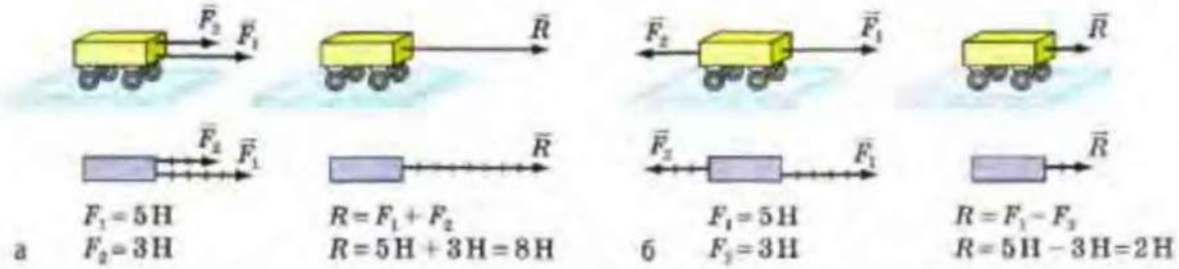


Рис. 11.4. Схема эксперимента, позволяющего выяснить, как складываются две разные силы, действующие в одном направлении *(а)* и действующие в противоположных направлениях *(б)*

деленным образом увеличивая скорость движения. Это увеличение будет таким же, как если бы на тележку действовала одна сила 8 Н. Силу 8 Н, которой в данном случае можно заменить две силы 5 и 3 Н, называют равнодействующей двух сил и обозначают символом R (рис. 11.4, *а*).

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

Когда две силы F_1 и F_2, действующие на тело, направлены в одну сторону, то они складываются. Равнодействующая R вычисляется по формуле $R = F_1 + F_2$, и ее направление совпадает с направлением сил.

Если тележку одновременно тянуть за две нити в противоположные стороны, то силы будут не «помогать» друг другу разгонять тележку, а наоборот — «мешать». В рассматриваемом случае тележка будет двигаться так, как будто на нее действует только одна сила 2 Н в направлении, в котором действует сила 5 Н. В данном случае равнодействующей двух сил 5 и 3 Н будет сила 2 Н (рис. 11.4, б).

Если две силы F_1 и F_2, действующие на тело, направлены в противоположные стороны, то значение равнодействующей R равно модулю разности сил F_1 и F_2, а ее направление совпадает с направлением большей из сил.*

3 **Выясняем условия, при которых силы компенсируют друг друга**

Если с одинаковой силой потянуть нити, привязанные к тележке с противоположных сторон, то равнодействующая двух сил будет равна нулю, то есть силы скомпенсируют друг друга и причины для изменения скорости движения тела не будет.

Две силы компенсируют друг друга, если они равны по значению, противоположны по направлению и приложены к одному телу.

* Вспомним: модуль разности двух чисел получают, вычитая из большего числа меньшее.

Так, чтобы автомобиль двигался по горизонтальному прямолинейному отрезку шоссе с постоянной скоростью, нужно, чтобы сила тяги его двигателя компенсировала силу сопротивления движению (последняя быстро остановит автомобиль при выключеном двигателе). Портфель в руке мальчика находится в состоянии покоя благодаря тому, что сила притяжения Земли, действующая на портфель, компенсируется силой, которую прикладывает к портфелю мальчик.

Подводим итоги

Если на тело действуют несколько сил, то их общее действие всегда можно заменить действием одной силы — равнодействующей.

Равнодействующей двух сил, которые действуют в одном направлении, является сила, значение которой равно сумме значений сил, а направление совпадает с направлением этих сил.

Равнодействующей двух сил, которые действуют в противоположных направлениях, является сила, значение которой равно модулю разности значений сил, а направление совпадает с направлением большей силы.

Две силы компенсируют друг друга, если они равны по значению, противоположны по направлению и приложены к одному телу.

Контрольные вопросы

1. Почему сила определяется не только значением, но и направлением? 2. Как изображают силу на рисунках? 3. Что называют равнодействующей сил, действующих на тело? 4. Как определить равнодействующую двух сил, действующих вдоль одной прямой? 5. При каких условиях две силы компенсируют друг друга?

Упражнение № 11

1. Человек действует на пол с силой 800 Н. С какой силой он будет действовать на пол, если возьмет в руки груз, который, в свою очередь, действует на него с силой 200 Н? Ответ объясните с помощью рисунка.
2. Два мальчика тянут санки, прикладывая горизонтальные силы 50 и 70 Н, направленные вдоль одной прямой. Каким может быть значение равнодействующей этих сил?
3. Канат, который тянут в противоположные стороны два человека, находится в состоянии покоя. Один человек тянет канат с силой 300 Н. Чему равна сила, с которой тянет канат второй человек? Изобразите на рисунке силы, действующие на канат. Чему равна равнодействующая этих сил?
4. Может ли автомобиль двигаться по дороге, если равнодействующая всех сил, приложенных к нему, направлена в сторону, противоположную направлению движения? Если может, то приведите пример.
5. На тело действуют три силы, направленные вдоль одной прямой. Две из этих сил имеют значения 30 и 50 Н. Какое значение может иметь третья сила, если равнодействующая трех сил равна 100 Н? Сколько решений имеет эта задача? Выполните в тетради соответствующие схематические рисунки.

Экспериментальное задание

Предложите конструкцию модели для демонстрации сложения сил, действующих вдоль одной прямой, и изготовьте ее.

§ 12. СИЛА ТЯЖЕСТИ. ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ

?! Если взять в руки, а потом отпустить, например, карандаш или портфель, то они обязательно упадут. Если сесть на скамью, она прогнется, если к резиновому жгуту подвесить какое-либо тело, он растянется. С 7 класса вам известно, что это — проявление гравитационного взаимодействия Земли и всех тел, расположенных вблизи нее. Однако репортажи с космических станций демонстрируют «исчезновение» земного притяжения — космонавты и все вещи на борту станций находятся в состоянии невесомости. В этом параграфе вы подробнее познакомитесь с земным притяжением и узнаете о том, как создать невесомость на Земле.

1 Вспоминаем о всемирном тяготении

Земля притягивает к себе все тела: Луну, Солнце, людей, дома и т. п. И наоборот: все тела притягивают к себе Землю. Более того, благодаря гравитационному взаимодействию *все тела во Вселенной притягиваются друг к другу* — это притяжение называют всемирным тяготением.

Небольшое яблоко, висящее на ветке, притягивается к Земле и вместе с тем притягивает Землю к себе. Оторвавшись от ветки, яблоко не только само будет падать, увеличивая скорость своего движения, но и заставит Землю двигаться ему навстречу. Из-за того что масса Земли намного больше массы яблока, скорость движения, приобретенная Землей вследствие притяжения к яблоку, будет очень маленькой и для нас незаметной.

2 Знакомимся с силой тяжести

В физике силу гравитационного притяжения Земли, действующую на тела вблизи ее поверхности, называют *силой тяжести*. Отметим, что, когда говорят «вблизи поверхности Земли», имеют в виду тела, расположенные не далее чем несколько километров от поверхности Земли.

Сила тяжести — сила, с которой Земля притягивает к себе тела, находящиеся на ее поверхности или вблизи нее.

Силу тяжести обозначают символом $F_{тяж}$. *Сила тяжести приложена к центру тела, которое притягивается Землей, и направлена вертикально вниз, к центру Земли* (рис. 12.1).

Многочисленными опытами доказано, что сила тяжести, действующая на тело, пропорциональна массе этого тела и ее можно представить в виде формулы

$$F_{тяж} = mg,$$

где $F_{тяж}$ — сила тяжести; m — масса тела; g — коэффициент пропорциональности, который в физике называют *ускорением свободного падения*.

Рис. 12.1. Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз (к центру Земли) и приложена к центру тела

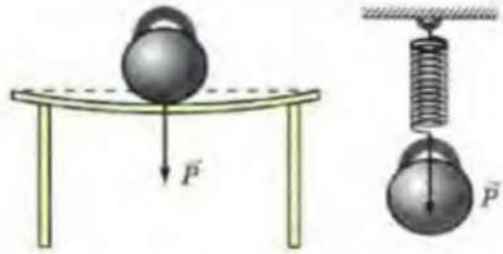


Рис. 12.2. Тела, размещенные на опоре или подвешенные к подвесу, действуют на них с силой, которую называют весом тела и которая приложена к опоре или подвесу

Ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли равно 9,8 Н/кг (если не требуется большой точности, можно считать, что $g = 10$ Н/кг). Незначительно оно отличается на экваторе и полюсах, над океанами и залежами полезных ископаемых, изменяется в случае подъема в горы и спуска в шахту. Подробнее с тем, от чего зависит ускорение свободного падения, вы познакомитесь в 10 классе, при изучении закона всемирного тяготения.

3 Выясняем, что физики называют весом тела

Все тела в результате притяжения к Земле сжимают или прогибают опору или растягивают подвес. Для характеристики такого действия тел в физике введено понятие *вес тела*.

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

Вес тела обозначают символом P.

В СИ единица веса, как и любой другой силы, — **ньютон** (Н).

Если тело находится в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения, то его вес по значению равен силе тяжести $(P = mg)$ и совпадает с ней по направлению.

В отличие от силы тяжести, приложенной к телу, вес приложен к опоре или подвесу (рис. 12.2, 12.3). Вес тела и сила тяжести отличаются и по своей природе: вес тела в своей основе является проявлением действия межмолекулярных сил*, а сила тяжести имеет гравитационную природу.

4 Привыкаем к невесомости

Термин «невесомость» привычен для всех, тем не менее его значение многие понимают неправильно. Так, некоторые считают, что невесомость — это состояние, которое наблюдается только в космосе,

* О некоторых проявлениях действия межмолекулярных сил вы узнаете позже, когда будете изучать силы упругости и трения.

где нет воздуха, или только на борту космического корабля. Также иногда можно услышать, что в состоянии невесомости на тело не действует сила тяжести. Однако все это не так! Отсутствие воздуха само по себе является причиной невесомости, а от гравитации вообще не спрячешься — во Вселенной нет ни одного уголка, где бы не действовали силы всемирного тяготения.

На самом деле *невесомость — это отсутствие веса*. Уберите у тела опору или подвес — и оно окажется в состоянии невесомости.

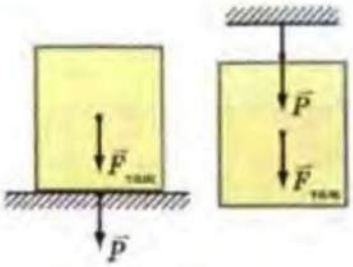


Рис. 12.3. Вес P тела приложен со стороны тела к опоре или подвесу, а сила тяжести $F_{тяж}$ — со стороны Земли к самому телу

Невесомость — это такое состояние тела, когда оно не действует на подвес или опору.

В состоянии невесомости на тело действуют лишь гравитационные силы, и оно движется под действием только этих сил. Таким образом, *условием пребывания тела в состоянии невесомости является движение тела под действием только гравитационных сил*. Вблизи поверхности Земли это — сила тяжести.

5 **Пробуем создать состояние невесомости**

На короткое время невесомость легко создать дома, на улице, в классе и т. п. Подбросьте какое-нибудь тело. В тот момент, когда тело остановилось в верхней точке своей траектории, оно не движется относительно воздуха и на него действует только сила тяжести,— тело находится в состоянии невесомости. В невесомости на мгновение оказываетесь и вы, когда, например, прыгаете с дерева или подпрыгиваете во время игры в баскетбол.

Постоянно в состоянии невесомости находятся космические орбитальные станции (рис. 12.4).

Рис. 12.4. Космические орбитальные станции движутся по околоземной орбите под действием только силы всемирного тяготения, поэтому такие станции и все, что в них, пребывают в состоянии невесомости

Для человека невесомость, как правило, сопровождается тошнотой, нарушением работы вестибулярного аппарата*, нервными расстройствами (рис. 12.5).

* *Вестибулярный аппарат* — орган чувств у людей и позвоночных животных, воспринимающий изменения в пространстве положения головы и тела, а также направление движения. Этот орган отвечает, например, за способность человека различать в темноте, где верх, а где низ.

Рис. 12.5. Чтобы долгое время работать на орбите в состоянии невесомости, космонавты проходят специальную подготовку

Подводим итоги

Во Вселенной все тела притягиваются друг к другу благодаря гравитационному взаимодействию. Это притяжение называют всемирным тяготением.

Сила тяжести — это сила, с которой Земля притягивает к себе тела, расположенные на ее поверхности или вблизи нее. Сила тяжести вычисляется по формуле $F_{тяж} = mg$ и направлена вертикально вниз, к центру Земли.

Вес тела — это физическая величина, равная силе, с которой тело действует на опору или подвес в результате притяжения к Земле. Вес обозначается символом P.

Следует различать силу тяжести и вес тела: сила тяжести приложена к самому телу, а вес — к его опоре или подвесу. В состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения вес тела равен по значению силе тяжести $(P = mg)$ и имеет то же направление.

Когда тело не действует на опору или подвес, то оно находится в состоянии невесомости. Условием пребывания тела в состоянии невесомости является его движение под действием только гравитационных сил.

Контрольные вопросы

1. Действует ли на вас сила притяжения к Луне? **2.** Притягивает ли Землю автомобиль, стоящий на автостоянке? космическая станция, находящаяся на орбите? **3.** Что называют силой тяжести и как ее вычислить? **4.** К чему приложена и куда направлена сила тяжести? **5.** Что такое вес тела? **6.** Чему равен вес тела, если оно находится в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения? **7.** Чем отличается вес тела от силы тяжести? **8.** Что такое невесомость? **9.** При каких условиях тело будет находиться в невесомости?

Упражнение № 12

1. Определите силу тяжести, действующую на тело массой 600 г.
2. Какова масса тела, если его вес равен 600 Н?
3. Книга лежит на столе. На какое тело действует вес книги? сила тяжести? Сделайте схематический рисунок, изобразите силу тяжести и вес книги.
4. В ведро массой 1,5 кг налили 5,5 л воды. Какую силу надо прикладывать, чтобы удерживать ведро в руках? Сделайте пояснительный рисунок, изобразив силы, действующие на ведро.
5. Какое из тел находится в невесомости: а) муха, летающая в комнате; б) пылинка, которая летает в воздухе; в) аквалангист, плывущий в толще воды; г) небольшой астероид, пролетающий мимо Земли?

§ 13. ДЕФОРМАЦИЯ ТЕЛА. СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА

?! Если согнуть ветку дерева или растянуть резиновый жгут, то нетрудно заметить, что тела «оказывают сопротивление»,— появляется сила, которая противодействует внешнему воздействию. Какие физические явления стоят за этим? От чего зависит эта сила? Почему конструкторы и машиностроители так тщательно ее изучают? Какие тела называют пластичными, а какие хрупкими? Обо всем этом вы узнаете в данном параграфе.

1 Наблюдаем деформацию тел

Вы уже знаете: если на тело действует сила, оно меняет скорость своего движения. Но есть еще одно *следствие действия силы на тело — деформация — изменение формы или объема тела* (рис. 13.1).

Рис. 13.1. Под действием руки эспандер изменяет свою форму — деформируется

Деформация тел под влиянием внешних сил происходит буквально на каждом шагу: становимся на доску, переброшенную с одного берега ручья на другой,— доска прогибается, затягиваем отверткой шуруп — происходит кручение отвертки, настраиваем гитару — растягиваются струны (рис. 13.2).

2 Исследуем природу силы упругости

При деформации в теле обязательно возникает сила, которая противодействует внешнему воздействию, деформирующему тело. Эту силу называют *силой упругости* (рис. 13.3).

Силу упругости обозначают символом $F_{упр}$. Сила упругости направлена в сторону, противоположную направлению смещения частей тела при деформации (рис. 13.4).

Когда мы ставим на опору какое-либо тело, то вследствие притяжения к Земле тело ее деформирует. Например, когда человек садится на скамью, она прогибается. Деформация опоры вызывает появление силы упругости, направленной перпендикулярно к поверхности опоры. В этом случае силу упругости называют *силой нормальной реакции опоры**.

Какова же природа силы упругости?

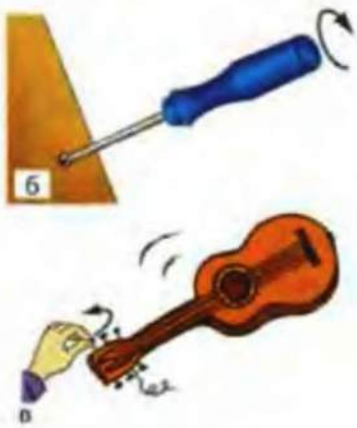


Рис. 13.2. Существуют различные виды деформации: изгиб *(а)*; кручение *(б)*; растяжение *(в)* и др.

* Слово «нормальный» употребляется потому, что речь идет о направлении вдоль так называемой *нормали* — прямой, перпендикулярной поверхности опоры.

Рис. 13.3. Сжимая пружину, мы деформируем ее. При этом в пружине возникает сила упругости

Известно, что все тела состоят из частиц (атомов, молекул). В твердых телах частицы занимают определенные положения равновесия и взаимодействуют так называемыми *межмолекулярными силами*. Если частицы находятся в положении равновесия, то межмолекулярные силы притяжения и отталкивания уравновешивают друг друга.

При деформации тела во взаимном расположении частиц возникают изменения. Если расстояние между частицами увеличивается, то межмолекулярные силы притяжения становятся больше, чем силы отталкивания. Если же частицы приближаются друг к другу, то больше становятся межмолекулярные силы отталкивания. Другими словами, частицы «стремятся» вернуться в положение равновесия.

Силы, возникающие при изменении положения одной частицы относительно других частиц, очень малы. Однако при деформации тела меняется взаимное расположение большого количества частиц, и сложение этих сил дает заметную равнодействующую. Это и есть сила упругости. Следовательно, сила упругости — проявление действия межмолекулярных сил.

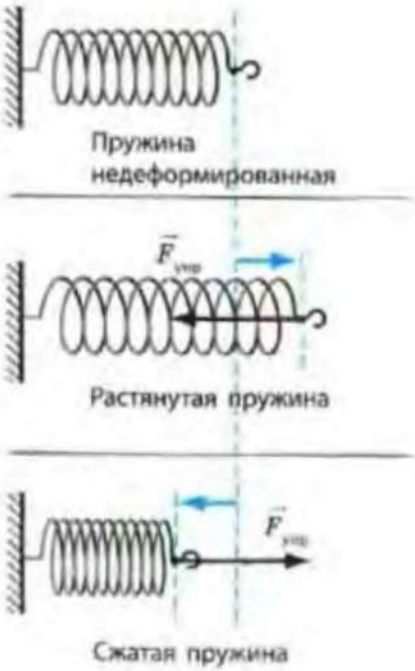


Рис. 13.4. При растяжении или сжатии пружины возникает сила упругости $F_{упр}$, которая всегда действует в направлении, противоположном направлению смещения частей тела при деформации

3 Открываем закон Гука

Научное исследование процесса растяжения тел было начато *Робертом Гуком* (рис. 13.5) в XVII в. Для своих опытов Гук воспользовался струной, один конец которой был жестко закреплен. Ученому удалось выяснить следующее: если сила, приложенная к свободному концу струны, не очень велика, то после прекращения действия силы струна возвращается в исходное состояние, то есть восстанавливает свою первоначальную длину. Такие деформации получили в физике название *упругих*.

При определенном увеличении силы, растягивающей струну, деформация перестает быть упругой, то есть после прекращения действия силы струна не восстанавливает свою первоначальную длину. Такие деформации получили название *пластических*.

Измеряя, на сколько струна удлиняется под влиянием разных по значению сил, Гук обнаружил: *в случае упругих деформаций удлинение струны пропорционально приложенной силе.*

Гук также выяснил: если струну заменить другим телом, например пружиной, и внешней силой растягивать (сжимать) его, то *в случае упругих деформаций изменение длины тела пропорционально приложенной силе.*

Таким образом, Гук определил зависимость силы упругости от увеличения или уменьшения длины тел. Эту зависимость назвали **законом Гука.**

Рис. 13.5. Роберт Гук (1635–1703), выдающийся английский естествоиспытатель, ученый-энциклопедист

При упругих деформациях тела возникает сила упругости, которая прямо пропорциональна изменению длины тела и действует в направлении, противоположном направлению смещения частей тела во время деформации:

$$F_{упр} = kx,$$

где $F_{упр}$ — сила упругости; k — коэффициент пропорциональности, который называют *жесткостью тела;* x — расстояние, на которое растягивается или сжимается тело при деформации. Поскольку сила упругости прямо пропорциональна изменению длины тела, графиком зависимости $F_{упр}(x)$ является прямая (рис. 13.6).

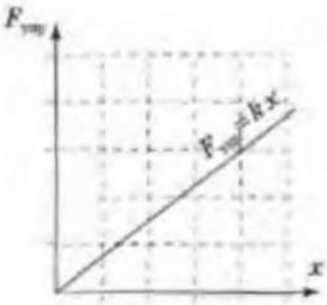


Рис. 13.6. При упругих деформациях тела сила упругости $F_{упр}$ прямо пропорциональна удлинению (или сжатию) x тела

Из закона Гука можно получить формулу для расчета жесткости тела: $k = \frac{F_{упр}}{x}$.

Единица жесткости в СИ — **ньютон на метр** (Н / м).

4 **Учимся решать задачи**

Задача. Сила 40 Н растягивает пружину на 8 см. Чему будет равна сила, которая растянет пружину еще на 6 см? Деформацию пружины считайте упругой.

Дано:
$F_1 = 40$ Н
$x_1 = 8$ см $= 0{,}08$ м
$\Delta x = 6$ см $= 0{,}06$ м

F_2 — ?

Анализ физической проблемы

Чтобы растянуть пружину, к ней нужно приложить силу. При растяжении пружины возникает сила упругости, по значению равная силе, приложенной к пружине: $F_{упр} = F$. По условию деформация упругая, поэтому можно применить закон Гука.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

По закону Гука сила упругости прямо пропорциональна деформации: $F_{упр} = kx$. Поэтому $F_1 = kx_1$ и $F_2 = kx_2$.

Отсюда $\frac{F_2}{F_1} = \frac{kx_2}{kx_1} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{x_2}{x_1} \Rightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot x_2}{x_1}$.

Поскольку $x_2 = x_1 + \Delta x$, то окончательно получаем:

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot (x_1 + \Delta x)}{x_1}.$$

Найдем значение искомой величины:

$$[F_2] = \frac{\text{Н} \cdot (\text{м} + \text{м})}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н};$$

$$\{F_2\} = \frac{40 \cdot (8+6)}{8} = 70; \ F_2 = 70 \ \text{Н}.$$

Проанализируем результат: при удлинении пружины на 8 см сила упругости равна 40 Н; при ее удлинении еще на 6 см сила упругости увеличится на 30 Н — результат правдоподобный.

Ответ: сила, дополнительно растянувшая пружину на 6 см, равна 70 Н.

5 Знакомимся с механическими свойствами твердых тел

Чтобы возводить дома, создавать надежные машины и механизмы, бытовые приборы и т. п., нужно знать механические свойства различных материалов: бетона, металлов, дерева, пластиков, стекла и др. Конструкторы должны предусмотреть, как будут вести себя те или иные материалы в условиях высоких или низких температур, при кратковременных или постоянных нагрузках и т. п. Соответствующие данные получают экспериментально: образцы материалов подвергают нагрузкам и исследуют происходящие изменения, например, при каких нагрузках наблюдаются упругие деформации, при каких начинаются пластические, при каких образцы разрушаются.

Среди механических свойств твердых тел чаще всего рассматривают *упругость*, *пластичность* и *хрупкость*.

Упругими материалами называют такие, в которых упругие деформации могут быть достаточно большими. Упругие материалы — это, например, сталь и резина. Если удлинить стальной стержень на 1% его длины, то он вернется к первоначальному состоянию. Для резины такое удлинение может составлять несколько десятков процентов.

Пластилин, мокрая глина, свинец, медь практически не проявляют упругих свойств. Под действием даже малых нагрузок в телах, изготовленных из этих материалов, наблюдаются пластические деформации. Такие материалы называют *пластичными*.

Хрупкими называют материалы, тела из которых даже в случае малых деформаций разрушаются. Такими материалами являются, например, стекло и фарфор, чугун и мрамор.

Следует отметить, что *одни и те же материалы в различных условиях могут проявлять различные механические свойства*. Так, при больших нагрузках упругая сталь становится пластичной и из стальных листов можно штамповать различные изделия. Пластичный свинец в случае охлаждения становится упругим, а стекло при температурах от 500 до 700 °C становится более пластичным, чем пластилин при комнатной температуре.

Подводим итоги

Деформацией тела называют изменение его формы или объема.

Сила упругости — проявление действия межмолекулярных сил.

В случае упругих деформаций тел возникает сила упругости, которая прямо пропорциональна изменению длины тела и действует в направлении, противоположном направлению смещения частиц тела во время деформации: $F_{упр} = kx$.

Среди механических свойств твердых тел чаще всего рассматривают упругость, пластичность и хрупкость.

Контрольные вопросы

1. Что называют деформацией? 2. Какие силы возникают в телах при их деформации? 3. Почему возникает сила упругости? 4. Какую деформацию называют упругой? пластичной? 5. Сформулируйте закон Гука. 6. Как исследуют механические свойства твердых тел? 7. Перечислите признаки упругих, пластичных, хрупких материалов.

Упражнение № 13

1. Мальчик растягивает пружину (рис. 1). Какая сила возникает в ней? Изобразите пружину в тетради, на рисунке покажите силы, действующие на кольцо, за которое держится мальчик.
2. На стол поставили тяжелый брусок. Что будет происходить со столешницей? Куда будет направлена сила упругости столешницы? Изобразите на рисунке силы, действующие на брусок.
3. Пружину жесткостью 40 Н/м растягивают силой 2 Н. На сколько удлинится пружина?
4. Жесткость пружины 20 Н/м. Вычислите, какую силу нужно приложить к пружине, чтобы растянуть ее на 1 см.
5. При сжатии пружины на 7 см возникает сила упругости 2,8 кН. Вычислите, какая сила возникает при сжатии пружины на 4,2 см.
6. Определите массу груза, висящего на пружине жесткостью 200 Н/м, если удлинение пружины 0,5 см.

7*. Определите плотность вещества, из которого изготовлен кубик (рис. 2). Ребро кубика равно 4 см.

Рис. 1

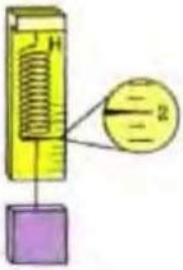
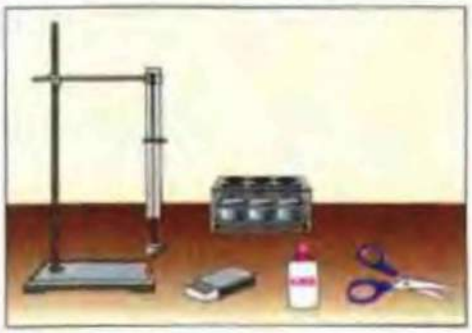


Рис. 2

Экспериментальное задание

Определите жесткость пружины вашей авторучки. Для удлинения пружины возьмите тело известной массы, например 50-копеечную монету (ее масса равна 4,2 г).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5



Тема. Изготовление динамометра.

Цель: изготовить динамометр, имеющий шкалу с заданной ценой деления.

Оборудование: штатив с муфтой и лапкой, деревянная линейка, набор грузов массой по 100 г, резиновый шнур диаметром 1–2 мм и длиной 10–12 см, ученическая линейка с отверстием, ножницы, клей, спички, нитки, бумага.

Теоретические сведения

Сила — это физическая величина, поэтому ее можно измерять. Измерить силу означает уравновесить ее известной силой. Прибор для измерения силы — динамометр. Простейший лабораторный динамометр (рис. 1) представляет собой деревянную или пластиковую панель *(1)* с нанесенной шкалой. К небольшому выступу *(2)* панели одним концом прикреплена пружина *(3)*, ее свободный конец имеет указатель *(4)* и проволочный поводок *(5)* с крючком на конце. Принцип действия такого динамометра основан на сравнении измеряемой силы с силой упругости пружины динамометра.

Чтобы изготовить динамометр самим, необходимо на дощечке (можно взять ученическую линейку), оклеенной белой бумагой, закрепить пружину, а потом проградуировать полученный прибор, то есть нанести на него шкалу. Вместо пружины можно использовать мягкую резиновую ленту или резиновый шнур.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Приготовьте необходимое оборудование.
2. Вспомните, при каких условиях выполняется закон Гука.

Эксперимент

1. Наклейте на одну сторону линейки белую бумагу.
2. Сложите резиновый шнур вдвое, протяните его сквозь отверстие и закрепите с помощью спички так, чтобы петля шнура свисала на четверть длины линейки вдоль стороны, заклеенной бумагой (рис. 2).

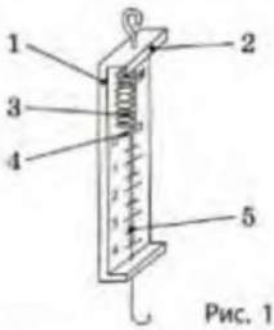


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

3. На конце петли закрепите указатель динамометра в виде спички и нитяной поводок (рис. 3).
4. Проградуируйте полученный прибор. Для этого:
1) Закрепите прибор в лапке штатива. Подвесьте к поводку груз массой 100 г; на бумаге, приклеенной на линейку, отметьте горизонтальной черточкой положение указателя.

Примечание. На груз массой 100 г действует сила тяжести, которая приблизительно равна 1 Н. Если груз находится в покое, сила тяжести уравновешивается силой упругости, поэтому сила упругости тоже приблизительно равна 1 Н.

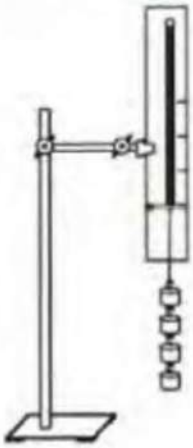


Рис. 4

2) Последовательно подвесьте второй, третий и четвертый грузы. В каждом случае положение указателя отмечайте черточкой (рис. 4).
3) Снимите грузы, отметьте черточкой нулевое положение указателя.
4) Снимите динамометр со штатива и на бумаге напротив горизонтальных черточек проставьте значения: 0, 1, 2, 3, 4 Н (рис. 5).

Рис. 5

5. Охарактеризуйте полученный динамометр, заполнив первую строку таблицы.
6. На полученном динамометре постройте шкалу с ценой деления 0,1 Н (если расстояние между черточками очень маленькое — с ценой деления 0,2 Н).
7. Охарактеризуйте полученный динамометр с новой шкалой еще раз, заполнив вторую строку таблицы.

Название прибора	Физическая величина, измеряемая прибором	Единица измеряемой величины	Блок отметок шкалы				
			Две соседние отметки, обозначенные цифрами	Количество делений между соседними отметками	Цена деления шкалы	Границы измерения	
						верхняя	нижняя

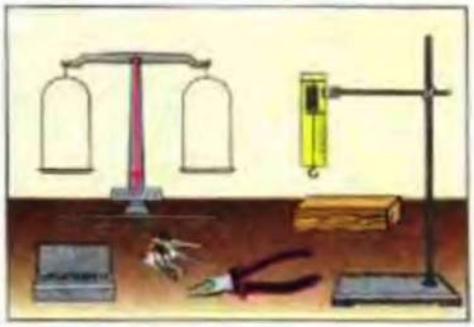
Анализ результатов эксперимента

Сделайте вывод, в котором укажите, как называется изготовленный вами прибор, на каком законе основан принцип его действия, где вам может понадобиться этот прибор и для чего нужны навыки, приобретенные в ходе выполнения работы.

Творческое задание

Какой вид имела бы шкала изготовленного вами динамометра в случае использования половины резиновой петли? Проведите опыт. Сравните полученную шкалу со шкалами, полученными во время выполнения лабораторной работы, сделайте вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6



Тема. Измерение веса тел с помощью динамометра.

Цель: научиться измерять вес тела с помощью динамометра.

Оборудование: динамометр, рычажные весы с разновесами, штатив с муфтой и лапкой, набор различных тел.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, вспомните ответы на следующие вопросы:
   1) Из каких основных частей состоит динамометр?
   2) Где должен быть расположен указатель ненагруженного динамометра?
2. Определите цену деления и границы измерения шкалы динамометра.
3. Закрепите динамометр в лапке штатива.
4. Уравновесьте весы.

Эксперимент

1. Взвесьте на рычажных весах несколько тел (кольцо от штатива, груз и т. п.).
2. По формуле $P = mg$ вычислите вес тел (P_1).
3. Определите вес этих тел с помощью динамометра (P_2).
4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Номер опыта	Название тела	Масса тела m, кг	Вес тела, определенный по формуле, P_1, Н	Вес тела, измеренный динамометром, P_2, Н

Анализ результатов эксперимента

Сравните значения веса тела, полученные двумя разными способами. Сделайте вывод, в котором укажите, какой способ измерения веса тела более точен, какой является наиболее универсальным, какие факторы повлияли на точность ваших измерений.

Творческое задание

Обдумайте и запишите план проведения эксперимента, позволяющего определить жесткость пружины динамометра.

§ 14. ТРЕНИЕ. СИЛА ТРЕНИЯ

?! Трение играет чрезвычайно важную роль в жизни человека. С одной стороны, трение не дает разогнаться до сверхрекордных скоростей велосипедистам и пловцам, оно служит причиной износа деталей автомобилей и различных механизмов. С другой стороны, трение подошв обуви о землю дает нам возможность ходить, благодаря трению наша одежда не расползается по швам, не развязываются шнурки, мы не соскальзываем со стула при малейшем движении. Как видим, трение приносит как лишние неудобства, так и пользу. А всегда ли существует трение? Как оно возникает и как можно предугадать его действие?

1 Знакомимся с силой трения покоя

Если человек попробует передвинуть очень тяжелое тело, например большой шкаф, и не сможет сдвинуть его с места, это значит, что сила мышц человека уравновешивается силой трения между полом и ножками шкафа. В таких случаях говорят о *трении покоя* (рис. 14.1).

Рис. 14.1. Шкаф не удается сдвинуть с места, хотя человек прикладывает немалые усилия: мешает сила трения покоя

Сила трения покоя — это сила, которая возникает при попытке сдвинуть с места неподвижное тело и препятствует возникновению движения.

Сила трения покоя обозначается символом $F_{тр.п}$ и всегда направлена в сторону, противоположную той, в которую двигалось бы тело, если бы трения не было. Сила трения покоя приложена вдоль поверхности, которой тело соприкасается с другим телом, и всегда равна силе, пытающейся сдвинуть тело с места (рис. 14.2).

Рис. 14.2. Сила F, с которой тянут тело, пытаясь сдвинуть его с места, и сила трения покоя $F_{тр.п}$, возникающая при этом, уравновешивают друг друга — тело находится в состоянии покоя

При увеличении силы, приложенной к телу и пытающейся сдвинуть его с места, увеличивается и сила трения покоя. Когда внешняя сила, действующая на тело, приобретет определенное значение и сдвинет тело с места, сила трения покоя станет максимальной. Максимальная сила трения покоя обозначается символом $F_{тр.п\,max}$.

Мы видим, что сила трения покоя не может превышать определенного максимального значения: $0 < F_{тр.п} \leqslant F_{тр.п\,max}$.

Примеров полезного действия силы трения покоя можно привести множество. Благодаря этой силе движутся автомобили, пальцы рук удерживают ручки и карандаши, а на болтах держатся гайки. В технике, на транспорте, в быту довольно часто принимают меры, чтобы одно тело не двигалось относительно другого. Например, для увеличения максимальной силы трения покоя тротуары во время гололедицы посыпают песком.

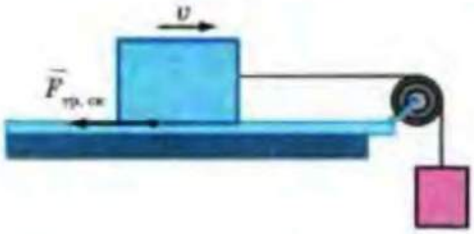


Рис. 14.3. Сила трения скольжения приложена вдоль поверхности соприкосновения тела и опоры и всегда направлена в сторону, противоположную направлению движения

2 Знакомимся с силой трения скольжения

Когда внешняя сила, действующая на тело, становится равной максимальной силе трения покоя, тело начинает двигаться — сила трения покоя переходит в *силу трения скольжения*.

Сила трения скольжения — это сила, возникающая при скольжении одного тела по поверхности другого.

Сила трения скольжения обозначается символом $F_{тр.ск}$ *и всегда направлена в сторону, противоположную направлению движения тела, к которому она приложена* (рис. 14.3). Сила трения скольжения немного меньше максимальной силы трения покоя. Именно поэтому тело сдвигается с места рывком, и поэтому массивные предметы тяжелее сдвинуть с места, чем потом двигать их.

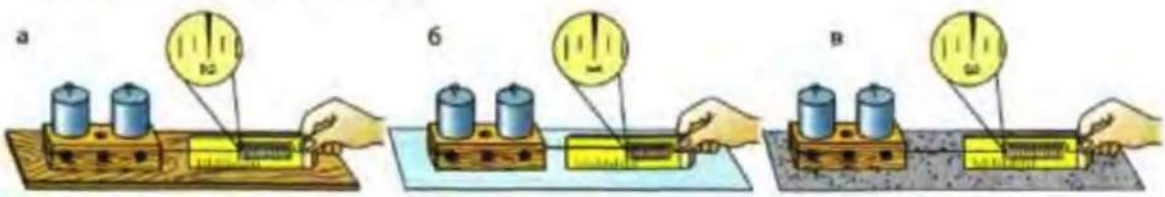
3 Выясняем, от чего зависит сила трения скольжения

Прикрепим к деревянному бруску крючок динамометра и начнем *равномерно* тянуть брусок по горизонтально расположенной деревянной доске (рис. 14.4, *а*). На брусок в горизонтальном направлении будут действовать сила упругости пружины динамометра и сила трения скольжения. Сила упругости пружины динамометра уравновешивает силу трения скольжения. То есть динамометр показывает значение силы трения скольжения дерева по дереву.

Если перевернуть брусок на другую грань (в нашем случае — на меньшую) и повторить опыт, то динамометр будет показывать то же значение силы трения скольжения. Таким образом, *сила трения скольжения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей*.

Заменим доску листом стекла и снова будем равномерно тянуть брусок с помощью динамометра (рис. 14.4, *б*). Опыт продемонстрирует, что сила трения скольжения дерева по стеклу меньше силы трения

Рис. 14.4. При скольжении одного и того же тела по разным поверхностям возникает разная сила трения скольжения: деревянный брусок скользит по деревянной доске *(а)*; стеклу *(б)*; наждачной бумаге *(в)*



скольжения дерева по дереву. Если же будем тянуть деревянный брусок по наждачной бумаге, то увидим, что сила трения скольжения дерева по наждачной бумаге больше, чем сила трения скольжения дерева по дереву (рис. 14.4, *в*). Следовательно, *сила трения скольжения зависит от свойств соприкасающихся поверхностей тел.*

Изменится сила трения скольжения и тогда, когда мы положим на тело дополнительный груз, увеличив таким образом силу нормальной реакции опоры (рис. 14.5). Сила трения скольжения в этом случае возрастет. Многочисленные опыты доказывают, что *сила трения скольжения увеличивается пропорционально силе нормальной реакции опоры.* Эту зависимость можно записать следующим образом:

$$F_{тр.ск} = \mu N,$$

где $F_{тр.ск}$ — сила трения скольжения; μ — коэффициент трения скольжения, N — сила нормальной реакции опоры*. Поскольку сила трения скольжения и сила нормальной реакции опоры имеют одинаковые единицы, коэффициент трения скольжения является величиной без единиц.

Коэффициент трения скольжения определяется, в частности, материалами, из которых изготовлены соприкасающиеся тела, качеством обработки их поверхностей.

Коэффициенты трения скольжения определяют экспериментально. Обычно таблицы значений коэффициентов трения скольжения содержат ориентировочные средние значения для пар материалов:

Материалы	Коэффициент трения скольжения	Материалы	Коэффициент трения скольжения
Сталь по льду	0,02	Бумага (картон) по дереву	0,40
Сталь по стали	0,20	Кожа по чугуну	0,56
Дерево по дереву	0,25	Резина по бетону	0,75

4 Выясняем причины возникновения и способы уменьшения силы трения

Поверхности твердых тел часто имеют царапины, неровности, бывают шершавыми. Во время или при попытке движения неровности цепляются друг за друга и деформируются или вовсе сминаются. В результате возникает сила, противодействующая силе, которая или стремится сдвинуть тело с места, или двигает его. Следовательно, причиной возникновения силы трения является *наличие неровностей* на поверхности

* $N = mg$, если на горизонтальной поверхности на тело в вертикальном направлении не действуют никакие силы, кроме силы тяжести и силы нормальной реакции опоры.

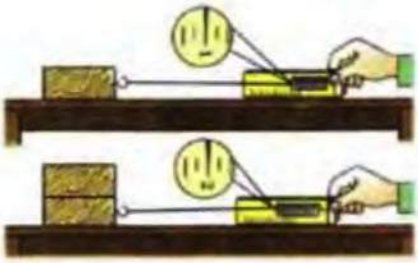


Рис. 14.5. Сила трения скольжения увеличивается, если увеличить силу, прижимающую тело к поверхности стола

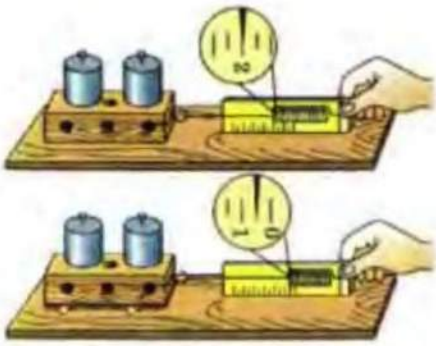


Рис. 14.6. Если под деревянный брусок подложить круглые карандаши, то передвигать брусок по поверхности станет значительно легче

Рис. 14.7. Замена скольжения качением приводит к уменьшению силы трения, и это используют в шариковых и роликовых подшипниках

соприкасающихся тел. Сила трения, как и сила упругости,— проявление сил межмолекулярного взаимодействия.

Казалось бы, для уменьшения силы трения нужно хорошо отполировать поверхности и таким образом свести к минимуму размеры неровностей. Однако отполированные поверхности очень плотно прилегают друг к другу, и в результате значительное количество молекул соприкасающихся поверхностей оказывается на таком расстоянии друг от друга, что становится заметным межмолекулярное притяжение. В результате сила трения увеличивается. Таким образом, еще одна причина возникновения силы трения — *взаимное притяжение молекул поверхностей соприкасающихся тел.**

Силу трения скольжения можно уменьшить, смазав соприкасающиеся поверхности. Смазка, как правило жидкая, отдалит соприкасающиеся поверхности друг от друга. Иными словами, соприкасаться будут не поверхности тел, а слои смазочного материала,— следовательно, трение скольжения (так называемое *сухое трение*) заменится *жидким (вязким) трением*, при котором сила трения значительно меньше.

5 Узнаем о силе трения качения

Тысячелетний опыт человечества показывает, что, например, тяжелую каменную глыбу легче перекатить на бревнах, чем просто тянуть по земле. Известно также, что трение уменьшится, если между соприкасающимися поверхностями расположить твердые катки (рис. 14.6). Если одно тело катится по поверхности другого, то мы имеем дело с *трением качения*. Во время качения возникает *сила трения качения*, которая обычно намного меньше силы трения скольжения. Поэтому в различных машинах и механизмах для уменьшения силы трения применяют подшипники (рис. 14.7).

* Более подробное исследование трения и обоснование причин его возникновения довольно сложно, и это выходит за рамки школьного курса физики.

6 Учимся решать задачи

Задача. Для равномерного движения книги массой 1 кг по столу нужно приложить горизонтальную силу 2 Н. Чему равен коэффициент трения скольжения между книгой и столом?

Дано:

$F = 2$ Н

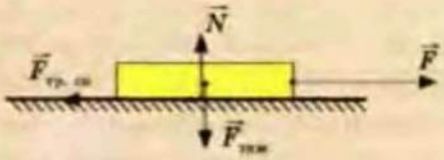
$m = 1$ кг

$g = 10\ \frac{Н}{кг}$

μ — ?

Анализ физической проблемы

Сделаем пояснительный рисунок, на котором укажем все силы, действующие на книгу: $F_{тяж}$ — сила тяжести ($F_{тяж} = mg$); N — сила нормальной реакции опоры; F — сила, под действием которой книга движется по поверхности стола; $F_{тр.ск}$ — сила трения скольжения.



Книга движется равномерно, следовательно, все силы, действующие на нее, попарно скомпенсированы: сила трения скольжения компенсирует силу, с которой книгу тянут по столу; сила тяжести компенсируется силой нормальной реакции опоры. При этих условиях и следует вычислять коэффициент трения.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

Поскольку силы, действующие на книгу, попарно скомпенсированы, можно записать: $F = F_{тр.ск}$, $N = mg$. Исходя из того что $F_{тр.ск} = \mu N$, получаем $F = \mu mg$. Отсюда $\mu = \frac{F}{mg}$.

Определим значение искомой величины:

$$[\mu] = \frac{Н}{кг \cdot \frac{Н}{кг}} = 1;\ \{\mu\} = \frac{2}{1 \cdot 10} = 0{,}2;\ \mu = 0{,}2.$$

Проанализируем результат: коэффициент трения 0,2 соответствует паре «дерево по дереву» (см. с. 75), следовательно, результат правдоподобен.

Ответ: коэффициент трения скольжения между книгой и столом равен 0,2.

! Подводим итоги

Сила трения покоя — это сила, которая возникает при приложении к телу внешней силы, пытающейся сдвинуть тело с места.

Сила трения скольжения — это сила, которая возникает при скольжении одного тела по поверхности другого и прямо пропорциональна силе нормальной реакции опоры: $F_{тр.ск} = \mu N$.

Коэффициент трения скольжения зависит от материалов, из которых изготовлены соприкасающиеся тела, от качества обработки их поверхностей, наличия между ними других веществ.

Для уменьшения силы трения скольжения поверхности тел, в частности, покрывают смазкой.

При качении одного тела по поверхности другого возникает сила трения качения, которая обычно меньше силы трения скольжения.

Контрольные вопросы

1. Что мешает сдвинуть с места большой шкаф? **2.** Куда направлена сила трения покоя? **3.** Зачем зимой тротуары посыпают песком? **4.** Когда проявляется сила трения скольжения и от чего она зависит? **5.** Почему в таблице коэффициентов трения скольжения представлены пары материалов, а не каждый материал отдельно? **6.** Какова природа силы трения скольжения? **7.** Как можно уменьшить силу трения скольжения? **8.** Почему круглое тело легче катить, чем тянуть?

Упражнение № 14

1. Действует ли на книгу, лежащую на горизонтальном столе, сила трения?
2. Чтобы открутить гайку, надо приложить силу. Почему гайка намного легче откручивается, если ее смочить керосином?
3. К бруску, который находится на поверхности стола, с помощью динамометра прикладывают горизонтальную силу 3 Н. Брусок при этом движется равномерно в направлении действия силы. Чему равна сила трения, действующая на брусок со стороны поверхности стола? Как будет вести себя брусок и какой будет сила трения, если динамометр будет показывать 2 Н?
4. Каков коэффициент трения скольжения между ящиком массой 10 кг и полом, если для равномерного перемещения ящика по полу нужно прикладывать горизонтальную силу 40 Н?
5. Брусок равномерно тянут по столу с помощью динамометра. Динамометр показывает силу трения 5 Н. Какова масса бруска, если коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2?
6. Стараясь сдвинуть с места пианино, к нему прикладывают постепенно увеличивающуюся горизонтальную силу. Пианино начало двигаться, когда сила достигла 500 Н. Как изменялась сила трения между пианино и полом? Что будет происходить, если продолжать увеличивать силу?

Экспериментальное задание

Положите на поверхность воды пустую пластиковую бутылку или другой плавающий предмет. Возьмите полоску бумаги и попробуйте ею толкнуть бутылку. Возникает ли в случае движения тела в жидкости сила трения покоя?

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

В июле 1937 г. Постановлением Совета народных комиссаров УССР в г. Сталино (сейчас Донецк) был открыт Государственный педагогический институт. Со временем учебное заведение стало Донецким национальным университетом — составной частью Донецкого научного центра НАН Украины и Министерства образования и науки Украины. Сейчас в университете учится свыше 25 тыс. студентов, проводятся научные исследования по 15 основным направлениям фундаментальных и прикладных наук.

Университет поддерживает связи с 26 университетами мира, является членом Ассоциации университетов Европы, двух международных организаций (Евразийская и AIMOS), участником ряда европейских научных программ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема. Определение коэффициента трения скольжения.

Цель: определить коэффициент трения скольжения дерева по дереву.

Оборудование: деревянный брусок, деревянная линейка, набор грузов, динамометр.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

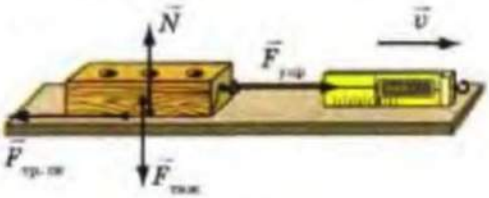
Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, вспомните ответы на следующие вопросы:
   1) В чем причина возникновения силы трения?
   2) От чего зависит и куда направлена сила трения скольжения?
   3) По какой формуле вычисляют силу трения скольжения?
2. Определите цену деления шкалы динамометра.

Эксперимент

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

1. Подвесьте брусок к динамометру; измерьте вес бруска — он равен силе реакции опоры $\left(N = F_{тяж},\ F_{тяж} = P,\ \text{значит, } N = P\right)$.
2. Прикрепите брусок к крючку динамометра и положите его широкой стороной на горизонтально расположенную линейку. Равномерно перемещайте брусок (см. рисунок). Определите силу трения скольжения по показаниям динамометра $\left(F_{тр.ск} = F_{упр}\right)$.
3. Повторите эксперимент еще три раза, положив на брусок сначала один груз, потом одновременно два, а потом одновременно три груза $\left(N = P_{бруска} + P_{груза}\right)$.



Обработка результатов эксперимента

1. Вычислите коэффициент трения скольжения для каждого опыта по формуле $\mu = \dfrac{F_{тр.ск}}{N}$, результаты занесите в таблицу.

Номер опыта	Сила трения скольжения $F_{тр.ск}$, Н	Сила реакции опоры N, Н	Коэффициент трения скольжения μ

Анализ результатов эксперимента

Полученные во время всех опытов значения коэффициентов трения скольжения сравните друг с другом и с табличным значением коэффициента трения скольжения дерева по дереву (см. с. 75). Сделайте вывод.

Творческое задание

Запишите план проведения эксперимента, который подтверждает, что коэффициент трения скольжения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей. Проведите этот эксперимент.

§ 15. МОМЕНТ СИЛЫ. УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

?! С незапамятных времен для поднятия тяжелых камней, перемещения больших тяжелых предметов и т. п., то есть для выполнения действий, которые невозможно осуществить только силой мышц, человек использовал простые орудия труда. Ознакомившись с данным параграфом, вы сможете узнать о принципе действия одного из таких орудий и привести примеры его применения сегодня.

1 Используем рычаг

Давно известно, что, например, тяжелый камень поднять значительно легче, если подложить под него крепкую доску. Доска в данном случае будет выступать в качестве *простого механизма — рычага*.

Рычаг — твердое тело, способное вращаться вокруг неподвижной оси.

Рычаг — простейший механизм, который человек использует тысячи лет (рис. 15.1). Изображения рычага можно найти на скалах и в древних папирусах, на стенах старинных храмов Китая, Индии и т. д. И сегодня примеры использования рычага мы видим всюду (рис. 15.2). Чаще всего в качестве рычага используют длинный стержень с закрепленной осью вращения.

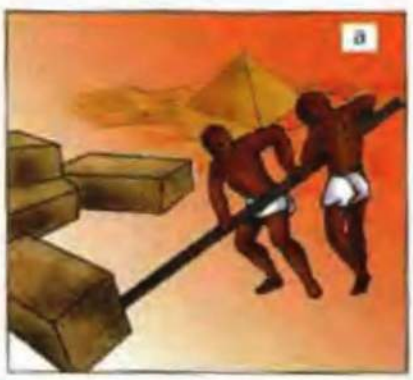
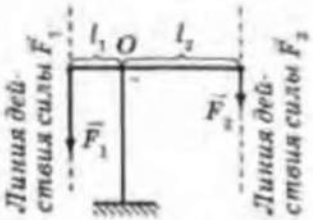


Рис. 15.1. Рычаг использовали еще при строительстве египетских пирамид *(а)*, а лопата (тоже пример рычага) — один из древнейших инструментов, известных человеку *(б)*

Рис. 15.2. Рычаги применяют всюду: на детских площадках *(а)*, в лабораториях *(б)*, центрах управления технологическими процессами *(в)*, на стройплощадках *(г)* и т. д.

2 Выясняем условие равновесия рычага

Выясним условие, при котором рычаг находится в равновесии. Для этого воспользуемся лабораторным рычагом, к которому с помощью проволочных крючков можно подвешивать различные грузы. Передвигая крючки, мы изменяем *плечи сил*, действующих на рычаг.



Плечо силы — это наименьшее расстояние между осью вращения и линией, вдоль которой сила действует на рычаг (рис. 15.3).

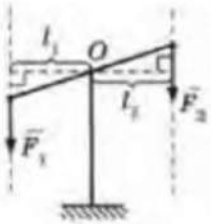


Рис. 15.3.
O — ось вращения;
l_1 — плечо силы F_1;
l_2 — плечо силы F_2

Подвесим, например, слева от оси вращения на расстоянии $l_1 = 30$ см груз весом $F_1 = 1$ Н. Справа от оси вращения подвесим грузы общим весом $F_2 = 3$ Н; передвигая этот крючок, добьемся положения равновесия рычага. Это произойдет, когда грузы общим весом 3 Н окажутся на расстоянии $l_2 = 10$ см от оси вращения (рис. 15.4). Найдем отношение: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{3}$; $\frac{l_2}{l_1} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3}$, то есть $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$. Многочисленные опыты позволяют сделать вывод, который называют **правилом рычага:**

Если на рычаг действует пара сил, то он находится в равновесии тогда, когда значения сил обратно пропорциональны плечам этих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

где F_1 и F_2 — силы, действующие на рычаг;
l_1 и l_2 — плечи этих сил.

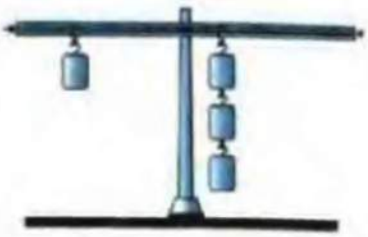


Рис. 15.4. Достичь равновесия рычага, к которому подвешены грузы разного веса, можно, если определенным образом подобрать плечи сил

Обычно говорят: с помощью рычага можно получить выигрыш в силе. Например, сравнительно небольшую силу человеческих мышц рычаг

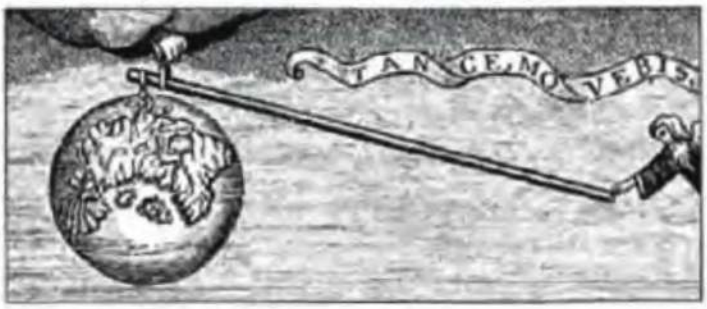


Рис. 15.5. Гравюра «Архимед рычагом поднимает Землю» из книги Пьера Вариньона о механике (1787)

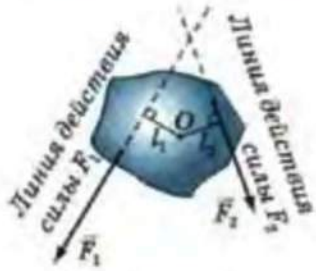


Рис. 15.6. O — ось вращения; l_1 — плечо силы F_1; l_2 — плечо силы F_2

«превращает» в силу, которая в состоянии поднять относительно тяжелое тело. Однако выигрыш в силе сопровождается проигрышем в расстоянии: плечо меньшей силы больше, и поэтому, когда человек с помощью рычага поднимает тяжелое тело на небольшую высоту, рука преодолевает значительное расстояние.

Правило рычага установил древнегреческий философ Архимед. Согласно легенде, именно ему принадлежат слова: «Дайте мне точку опоры — и я переверну Землю» (рис. 15.5).

3 Знакомимся с моментом силы

Для характеристики способности силы вращать твердое тело в физике введена физическая величина *момент силы*.

Момент силы — физическая величина, равная произведению силы, которая действует на тело, на плечо этой силы.

Момент силы обозначают символом M и вычисляют по формуле $M = Fl$, где F — сила, действующая на тело; l — плечо этой силы.

Единица момента силы в СИ — **ньютон-метр** (Н·м). *Сила* 1 Н *создает момент силы* 1 Н·м, *если ее плечо равно* 1 м.

В физике принято: *если сила вращает или пытается вращать тело против хода часовой стрелки, то момент силы имеет положительное значение, а если по ходу часовой стрелки — отрицательное значение.* Так, на рис. 15.6 момент силы F_1 имеет положительное значение, а момент силы F_2 — отрицательное.

4 Открываем правило моментов

Запишем правило рычага $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ иначе: $F_1 l_1 = F_2 l_2$.

Поскольку произведение силы F на плечо силы l является моментом силы M, то $M_1 = -M_2$ (знак «–» поставлен потому, что сила F_2 стремится вращать тело по ходу часовой стрелки, а значит, ее момент имеет отрицательное значение).

Равенство $M_1 = -M_2$ можно переписать иначе: $M_1 + M_2 = 0$. Это уравнение называют *правилом моментов*.

В случаях, когда на твердое тело, имеющее ось вращения, действует более двух сил, правило моментов имеет следующий вид:

$$M_1 + M_2 + \ldots + M_n = 0$$

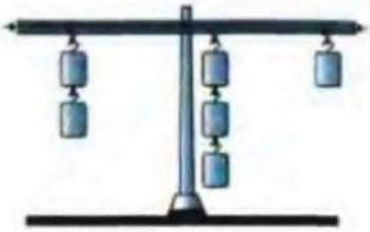


Рис. 15.7. Если на рычаг действует более двух сил, то, чтобы выяснить условие равновесия рычага, целесообразно использовать правило моментов

Итак, формулируем **правило моментов:**

Тело находится в равновесии, если сумма моментов сил, действующих на него, равна нулю.

Таким образом, когда на рычаг действуют, например, три силы (рис. 15.7), условие его равновесия будет иметь вид: $M_1 + M_2 + M_3 = 0$.

5 Учимся решать задачи

Задача. Какова масса груза *1* (рис. 15.8), если масса груза *2* равна 4 кг? Массу рычага не учитывайте.

Рис. 15.8

Дано:
$m_2 = 4$ кг

m_1 — ?

Анализ физической проблемы

На рисунке изображен рычаг, находящийся в равновесии. На рычаг действует пара сил (F_1 и F_2). Из рисунка же видим, чему соответственно равны плечи этих сил: $l_1 = 5a$, $l_2 = 3a$, где a — длина единичного отрезка, из которых состоит рычаг.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

Воспользуемся условием равновесия рычага: $\frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}$.

Поскольку грузы неподвижны, то $F_1 = m_1 g$; $F_2 = m_2 g$.

Следовательно, $\frac{m_2 g}{m_1 g} = \frac{l_1}{l_2} \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{l_1}{l_2}$.

Окончательно: $m_1 = \frac{m_2 l_2}{l_1}$.

Проверим единицу искомой величины: $[m_1] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{кг}$.

Найдем значение искомой величины:

$$\{m_1\} = \frac{4 \cdot 3a}{5a} = \frac{12}{5} = 2{,}4; \; m_1 = 2{,}4 \text{ кг}.$$

Проанализируем результат: к меньшему плечу рычага подвешен груз массой 4 кг, а к большему — груз массой 2,4 кг. Результат правдоподобен.

Ответ: масса груза *1* равна 2,4 кг.

Подводим итоги

Рычаг — это твердое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси.

Плечо силы — кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Рычаг находится в равновесии, если значения сил F_1 и F_2, действующих на его плечи l_1 и l_2, обратно пропорциональны длине плеч: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$.

Для характеристики способности силы вращать твердое тело введен момент силы M, который равен произведению силы F, действующей на тело, на плечо l этой силы: $M = Fl$.

Используя правило моментов: $M_1 + M_2 + \ldots + M_n = 0$,— можно сформулировать правило рычага в общем виде: рычаг находится в равновесии, если сумма моментов сил, действующих на его плечи, равна нулю.

Контрольные вопросы

1. Что называют рычагом? 2. Что называют плечом силы? 3. Сформулируйте условие равновесия рычага. 4. Дайте определение момента силы. 5. В каких единицах измеряется момент силы? 6. В каких случаях момент силы имеет положительное значение? отрицательное? 7. Сформулируйте правило моментов.

Упражнение № 15

Массами стержней, на которых подвешены тела, следует пренебречь.

1. Вес груза *1* (рис. 1) равен 90 Н. Какова масса груза *2*?
2. Общая масса грузов (рис. 2) равна 48 кг. Вычислите массу каждого груза.
3. Вычислите массу груза (рис. 3), если сила, действующая на правый конец рычага, равна 40 Н.
4. К концам тонкого однородного стержня длиной 2 м подвешены грузы массой 14 и 26 кг. На каком расстоянии от середины стержня следует разместить опору, чтобы стержень находился в равновесии?
5. Масса груза *1* равна 10 кг, груза *2* — 5 кг (рис. 4). Какова масса груза *3*?

Рис. 1

Рис. 2

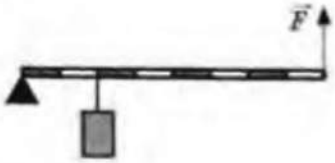


Рис. 3

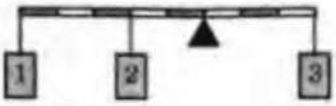
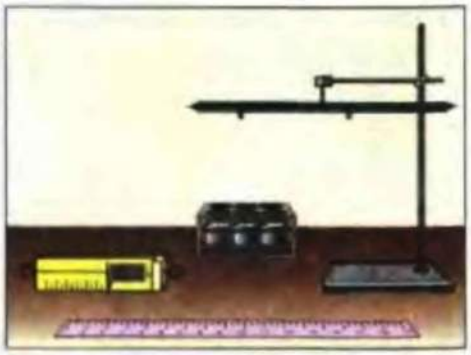


Рис. 4

Экспериментальное задание

С помощью линейки, карандаша и нити определите отношение масс ваших мобильного телефона и микрокалькулятора (или двух других предметов, которые найдутся в вашем портфеле).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8



Тема. Выяснение условия равновесия рычага.
Цель: проверить опытным путем, каким должно быть соотношение сил и их плеч, чтобы рычаг находился в равновесии.
Оборудование: рычаг, штатив с муфтой и лапкой, набор грузов массой по 100 г, динамометр, ученическая линейка.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, вспомните ответы на следующие вопросы:
   1) Что называют рычагом и где используют рычаги?
   2) Что называют плечом силы?
   3) Что такое момент силы?
2. Определите цену деления шкал измерительных приборов.
3. Закрепите на лапке штатива рычаг и уравновесьте его с помощью регулировочных гаек.

Эксперимент

Результаты измерений сразу же заносите в таблицу.

Номер опыта	По ходу часовой стрелки			Против хода часовой стрелки			$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	$M_1 + M_2$, Н·м
	F_1, Н	l_1, м	M_1, Н · м	F_2, Н	l_2, м	M_2, Н · м			

1. Подвесьте с одной стороны от оси вращения рычага один груз, с другой стороны — два груза.
2. Передвигая грузы, уравновесьте рычаг (рис. 1).
3. С помощью линейки измерьте плечи l_1 и l_2 соответствующих сил F_1 и F_2.
4. Считая, что вес одного груза равен 1 Н, запишите значения сил F_1 и F_2.
5. Повторите опыт, подвесив на одной половине рычага два, а на второй — три груза (рис. 2).

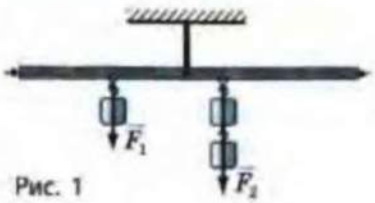


Рис. 1

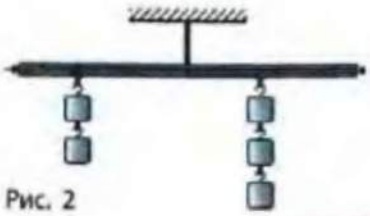


Рис. 2

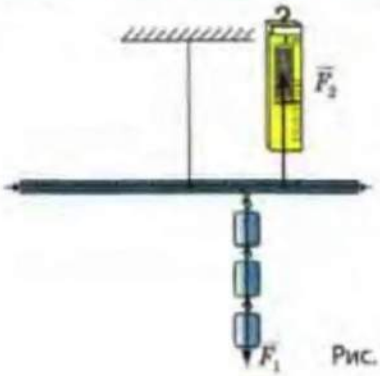


Рис. 3

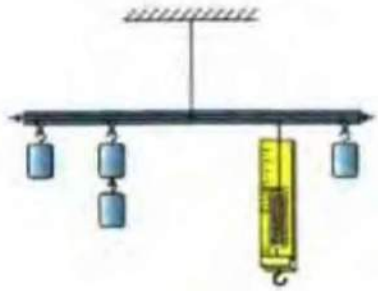


Рис. 4

6. Подвесьте справа от оси вращения на расстоянии 12 см три груза. Сила F_1 будет равна общему весу этих грузов. Определите с помощью динамометра, какую силу F_2 нужно приложить в точке, находящейся на расстоянии 8 см правее точки подвеса грузов, чтобы рычаг находился в равновесии (рис. 3).

Обработка результатов эксперимента

1. Для каждого опыта:
   1) найдите отношение сил $\frac{F_1}{F_2}$ и отношение плеч $\frac{l_2}{l_1}$;
   2) вычислите момент M_1 силы, вращающей рычаг по ходу часовой стрелки, и момент M_2 силы, вращающей рычаг против хода часовой стрелки;
   3) найдите сумму моментов сил, действующих на рычаг (напоминаем, что момент силы, вращающей рычаг по ходу часовой стрелки, имеет отрицательное значение).
2. Завершите заполнение таблицы.

Анализ результатов эксперимента

На основании проведенных опытов сравните отношение сил, действующих на рычаг $\left(\frac{F_1}{F_2}\right)$, и отношение его плеч $\left(\frac{l_2}{l_1}\right)$. Сделайте вывод, в котором сформулируйте условие равновесия рычага, проанализируйте, какие факторы повлияли на точность ваших измерений.

Творческое задание

Соберите устройство, как показано на рис. 4. Выполните необходимые измерения и вычислите моменты сил, действующих на рычаг. Найдите сумму моментов. Сделайте вывод об условии равновесия рычага в данном эксперименте.

§ 16. БЛОК

?! Очень давно через колесо, вращающееся вокруг своей оси, неизвестный древний механик перебросил веревку и с помощью этого устройства стал поднимать грузы. Так был изобретен первый блок. По легенде, Архимед с помощью нескольких блоков спустил на воду тяжелое судно, которое не могли сдвинуть с места десятки коней. И сейчас блоки присутствуют во многих машинах и механизмах. Чем же объясняется их широкое применение?

1 Выясняем связь неподвижного блока с рычагом

На рис. 16.1 изображено колесо с желобом, через который переброшена веревка. Ось колеса закреплена неподвижно, а само колесо может вращаться вокруг этой оси. Перед вами пример еще одного *простого механизма — неподвижный блок*. Рычаг и неподвижный блок, на первый взгляд, совсем разные механизмы. Однако на самом деле неподвижный блок — это рычаг с одинаковыми плечами (рис. 16.1, б). Действительно, если к концам веревки, перекинутой через блок, приложить силы, то в соответствии с условием равновесия рычага получим $\frac{F_1}{F_2}=\frac{l_2}{l_1}$.

Плечи сил F_1 и F_2 равны радиусу R колеса. Поэтому из условия равновесия $\frac{F_1}{F_2}=\frac{R}{R}=1$ следует, что $F_1=F_2$, то есть *неподвижный блок не дает выигрыша в силе*. Однако мы видим, что *неподвижный блок позволяет изменять направление действия силы* (см., например, рис. 16.2, 16.3).

2 Исследуем подвижный блок

С помощью специальной обоймы прикрепим к оси блока груз. Сам блок подвесим на веревке, один конец которой закреплен на потолке (рис. 16.4). Если поднимать свободный конец веревки, то вслед за

Рис. 16.1. Неподвижный блок можно рассматривать как равноплечий рычаг. На схеме *(б)*: *R* — радиус блока; *OB* — плечо силы, действующей со стороны тела; *AO* — плечо силы, с которой на блок действует человек

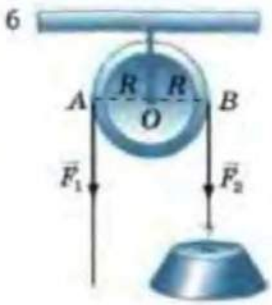


Рис. 16.2. Неподвижные блоки в конструкции карьерных экскаваторов позволяют изменять направление действия сил под любым углом

Рис. 16.3. Неподвижный блок в механизме канатной дороги меняет направление действия силы натяжения каната на противоположное

веревкой будет подниматься и блок с грузом. Полученный таким образом простой механизм и есть *подвижный блок*.

Подвижный блок можно рассматривать как рычаг, который вращается вокруг точки O (см. рис. 16.4). Тогда плечо силы F_2, линия которой проходит через ось колеса, равно радиусу OA колеса; плечо силы F_1, приложенной вдоль веревки, равно диаметру OB колеса, то есть двум его радиусам. Таким образом, подвижный блок является рычагом с соотношением плеч 1 : 2. Используя условие равновесия рычага $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ и учитывая значение плеч сил F_1 и F_2, получаем $\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{2R}$. Окончательно $F_1 = \frac{F_1}{2}$. Таким образом, *подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза*, при этом *выигрыш в силе сопровождается таким же проигрышем в расстоянии*: если поднять свободный конец веревки на высоту h, груз поднимется на высоту $\frac{h}{2}$ (рис. 16.5).

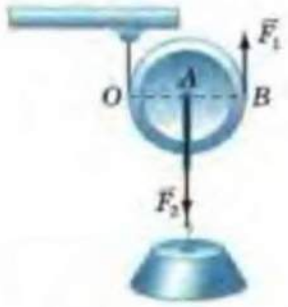


Рис. 16.4. Силы, действующие на подвижный блок

Как правило, неподвижные и подвижные блоки используют одновременно — в виде различных комбинаций (рис. 16.6).

Рис. 16.5. Если поднять конец веревки на высоту h, то блок поднимется на высоту $\frac{h}{2}$

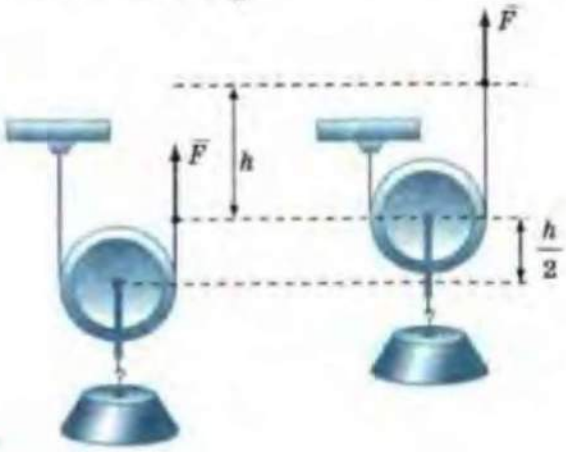
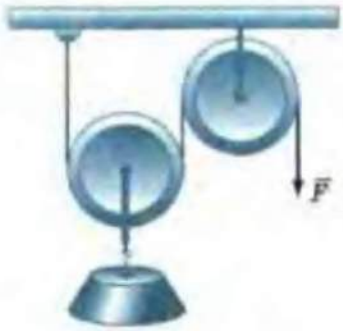


Рис. 16.6. Для поднятия грузов незаменимы комбинации неподвижного и подвижного блоков



3 Учимся решать задачи

Задача. На рис. 16.7 изображена система блоков. Сколько в этой системе подвижных блоков и сколько неподвижных? Каковы силы натяжения F_a и F_b веревок a и b соответственно, если масса груза равна 20 кг? Какой выигрыш в силе дает данная система блоков? На какое расстояние h_A опустится точка A, если груз поднимется на 10 см? Блоки считайте невесомыми, трение отсутствующим.

Дано:
$m = 20$ кг
$h = 10$ см
$g = 10 \frac{Н}{кг}$

F_a — ?
F_b — ?
$\frac{P}{F}$ — ?
h_A — ?

Анализ физической проблемы

В задаче описана система блоков, которая, как видно из рисунка, состоит из двух подвижных и одного неподвижного блоков. По условию блоки невесомы, следовательно, натяжение веревок будет вызывать только вес груза. Груз подвешен к подвижному блоку, дающему выигрыш в силе. Второй подвижный блок также дает выигрыш в силе. Для определения выигрыша в силе нужно сравнить вес P груза с силой F, которая приложена к свободному концу веревки и под действием которой поднимается груз. Следует учитывать, что, выигрывая в силе, мы во столько же раз проигрываем в расстоянии, на которое перемещается груз.

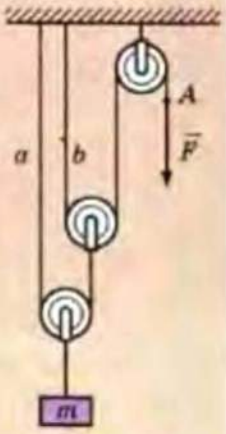


Рис. 16.7

Поиск математической модели, решение

Вес груза может быть вычислен по формуле

$$P = mg.$$

Найдем вес груза:

$$P = 20\ кг \cdot 10 \frac{Н}{кг} = 200\ Н.$$

Подвижный блок, к которому подвешен груз, дает выигрыш в силе в 2 раза, следовательно, сила натяжения веревки a равна:

$$F_a = \frac{P}{2};\ F_a = \frac{200\ Н}{2} = 100\ Н.$$

Подвижный блок, к которому подвешена веревка b, также дает выигрыш в силе в 2 раза, следовательно, сила натяжения веревки b составляет:

$$F_b = \frac{F_a}{2};\ F_b = 50\ Н.$$

Сила F — это сила натяжения веревки b: $F = F_b$. Поэтому выигрыш в силе составляет:

$$\frac{P}{F} = \frac{200\ Н}{50\ Н} = 4.$$

Во сколько раз мы выиграли в силе, во столько раз проиграли в расстоянии: $h_A = 4h = 40$ см.

Ответ: система блоков состоит из двух подвижных и одного неподвижного блоков; сила натяжения веревки *a* равна 100 Н; сила натяжения веревки *b* — 50 Н; выигрыш в силе равен 4; точка *A* опустится на 40 см.

Подводим итоги

Неподвижный блок подобен рычагу с одинаковыми плечами и поэтому не дает выигрыша в силе, однако позволяет изменять направление действия силы.

Подвижный блок подобен рычагу с отношением плеч 1 : 2, и потому он дает выигрыш в силе в 2 раза. Однако выигрыш в силе сопровождается проигрышем в расстоянии в 2 раза.

Для большей эффективности, как правило, используют различные комбинации подвижных и неподвижных блоков.

Контрольные вопросы

1. Опишите неподвижный блок. 2. Почему неподвижный блок не дает выигрыша в силе? 3. Для чего используют неподвижный блок? 4. Опишите подвижный блок. 5. Какой выигрыш в силе дает подвижный блок? 6. Что означают слова: подвижный блок дает проигрыш в расстоянии в 2 раза? 7. Как с помощью блоков получить выигрыш в силе более чем в 2 раза?

Упражнение № 16

В задачах 2–5 трением следует пренебречь.

1. На сколько поднимется груз (рис. 1), если свободный конец веревки вытянуть вверх на 10 см?
2. Свободный конец веревки тянут с силой F = 40 Н (рис. 2). Какова масса груза?

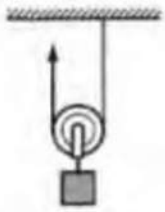


Рис. 1

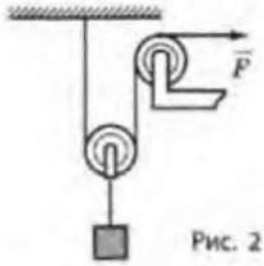


Рис. 2

3. Какую силу F надо приложить, чтобы поднять груз массой 50 кг (рис. 2)? На сколько поднимется груз, если вытянуть веревку на 24 см?
4. Какую силу надо приложить, чтобы поднять груз массой 100 кг с помощью подвижного и неподвижного блоков, если масса подвижного блока составляет 2 кг (см. рис. 16.6)?
5. Груз поднимается с помощью одного неподвижного и двух подвижных блоков (см. рис. 16.7). Какова масса груза и на сколько он поднимется, если под действием силы 75 Н свободный конец веревки опустить на 60 см?

§ 17. ДАВЛЕНИЕ И СИЛА ДАВЛЕНИЯ

?! Почему с давних времен жители Севера для передвижения по снегу используют лыжи? Почему летом на мягком асфальте женщина, обутая в босоножки на шпильках, оставляет более заметные и глубокие следы, чем мужчина в обуви на широкой подошве? Почему шила и лезвия ножей время от времени натачивают? Почему гвоздь острием входит в доску легко, а шляпкой вперед — нет? Попробуем получить ответы на эти вопросы.

1 Наблюдаем последствия действия силы

Одним из последствий действия силы является деформация тел: чем больше сила, действующая на тело, тем большей будет деформация. Однако *деформация зависит не только от значения и направления действия силы, но и от площади, на которую действует сила*: нажмите на поверхность песка сначала раскрытой ладонью, а потом пальцем — и вы убедитесь в этом на собственном опыте (рис. 17.1).

Рис. 17.1. Если на поверхность песка нажать рукой, то оставленный след, в частности его глубина, будет зависеть от того, как именно это было сделано — ладонью или пальцем (при одинаковой силе давления)

Можно провести еще один опыт: деревянный параллелепипед поставить на снег сначала меньшей гранью, а затем другой, большей площади. В первом случае брусок глубже провалится в снег, чем во втором (рис. 17.2), хотя сила, действующая на снег со стороны бруска, одинакова.

2 Выясняем, что такое давление

Для характеристики зависимости результата действия силы от площади поверхности, на которую действует эта сила, в физике используют понятие *давления*.

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

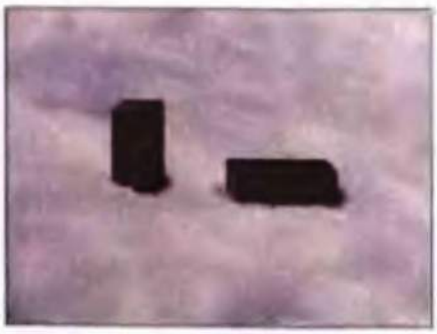


Рис. 17.2. Деревянный брусок проваливается в снег глубже, если он поставлен на меньшую грань

Давление обозначают символом p и вычисляют по формуле

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

где F — сила, действующая на поверхность (сила давления); S — площадь поверхности.

Рис. 17.3. Блез Паскаль (1623–1662) — французский ученый, философ, писатель. Имел удивительно разносторонние интересы, что, впрочем, было характерно для ученых эпохи Возрождения

Единица давления в СИ — **паскаль** ($Па = Н/м^2$) (названа в честь французского ученого XVII ст. *Блеза Паскаля* (рис. 17.3)).

1 Па — *это давление, которое создает сила в* 1 Н, *действующая перпендикулярно поверхности площадью* 1 $м^2$.

1 Па — небольшое давление, поэтому часто используют кратные единицы давления: *гектопаскаль* (гПа), *килопаскаль* (кПа), *мегапаскаль* (МПа).

1 гПа = 100 Па; 1 кПа = 1000 Па;
1 МПа = 1 000 000 Па.

Сравнить давления, которые оказывают тела, можно с помощью таблицы:

Создание давления	Давление, кПа	Создание давления	Давление, кПа
Человек и пол, на котором он стоит	20–30	Швейная игла и плотная ткань	До 100 000
Гусеничный трактор и грунт	40–50	Укус собаки	До 150 000
Колеса легкового автомобиля и дорога	200–300	Колеса железнодорожного вагона и рельсы	300 000
Лопата и грунт	1000–2000	Укус комара	100 000 000

Давление изменится, если изменить площадь поверхности, на которую действует сила давления. Для увеличения давления площадь следует уменьшать (именно поэтому натачивают инструменты — ножницы, шило и т. п.) (рис. 17.4). И наоборот: для уменьшения давления площадь поверхности увеличивают (рис. 17.5).

Рис. 17.4. Чтобы прикладывать меньше усилий при работе с некоторыми инструментами, их натачивают

Рис. 17.5. Человек провалился в снег, а вездеход благодаря широким колесам остался на его поверхности

3 Учимся решать задачи

Задача. Сплошной стальной куб оказывает на стол давление 7,8 кПа. Чему равна длина грани куба?

Дано:

$p = 7{,}8$ кПа $= 7800$ Па

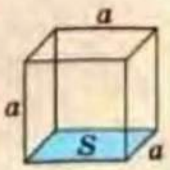
$\rho = 7800 \frac{кг}{м^3}$

$g = 10 \frac{Н}{кг}$

a — ?

Анализ физической проблемы

Из условия известно только давление, оказываемое кубом. Однако указано, что куб стальной, то есть из справочных таблиц можно узнать плотность материала, из которого он изготовлен. Плотность связана с массой тела, масса определяет вес тела, а тот, в свою очередь,— давление. Эти сведения пригодятся для решения задачи.



Поиск математической модели, решение

По определению давление $p = \frac{F}{S}$, где $F = mg$ — вес куба; $S = a^2$ — площадь грани куба (в том числе его основания) (см. рисунок). Поскольку $m = \rho V$, а $V = a^3$, то $m = \rho a^3$.

Тогда $p = \frac{mg}{a^2} = \frac{\rho a^3 g}{a^2} = \rho a g$.

Отсюда длина ребра куба $a = \frac{p}{\rho g}$.

Определим значение искомой величины:

$$[a] = \frac{Па}{\frac{кг}{м^3} \cdot \frac{Н}{кг}} = \frac{\frac{Н}{м^2}}{\frac{Н}{м^3}} = \frac{Н}{м^2} \cdot \frac{м^3}{Н} = м;$$

$$\{a\} = \frac{7800}{7800 \cdot 10} = 0{,}1; \quad a = 0{,}1 \text{ м} = 10 \text{ см}.$$

Ответ: длина грани стального куба равна 10 см.

! Подводим итоги

Действие тела на поверхность другого тела определяется не только силой, но и площадью соприкасающихся поверхностей.

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

Давление обозначают символом p и вычисляют по формуле $p = \frac{F}{S}$; единица давления в СИ — паскаль ($Па = \frac{Н}{м^2}$).

? Контрольные вопросы

1. От чего, кроме значения и направления, зависит результат действия силы? 2. Дайте определение давления. 3. В каких единицах измеряется давление? 4. Дайте определение паскаля.

Упражнение № 17

1. Давление гусеничного трактора на грунт составляет 45 кПа. Что это значит?
2. Человек, сидящий на диване, оказывает на его поверхность определенное давление. Как изменится давление, если человек ляжет?
3. Почему комар своим хоботком может создать давление намного большее, чем человек, стоящий на полу?
4. Почему для работы в болотистой местности трактор на гусеницах более удобен, чем трактор на колесах?
5. Во сколько раз изменится давление, которое оказывает грузовик на поверхность дороги, если водитель заменит узкие шины колес широкими? Площадь соприкосновения с дорогой широких шин в 1,5 раза больше, чем площадь соприкосновения узких шин.
6. Ширина режущего края лопаты составляет 28 см, а его толщина равна 0,25 мм. Какое давление создает лопата на грунт, если человек действует на лопату с силой 210 Н?
7. Мальчик на лыжах выехал на заснеженную поляну. Снеговой покров на поляне выдерживает давление 2 кПа. Ширина лыж 10 см, их длина — 1,5 м. Какой может быть максимальная масса мальчика, чтобы он не проваливался в снег?

Экспериментальное задание

Выясните, во сколько раз изменится давление, которое оказывает ваш письменный стол на пол, если его перевернуть ножками кверху? Переворачивать и взвешивать стол нельзя.

§ 18. ДАВЛЕНИЕ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

?! Почему, когда надувают воздушный шарик, резиновая пленка, из которой он сделан, растягивается? Ответ понятен: в шарик добавляют воздух. А можно ли заставить воздушный шарик увеличить свой объем без того, чтобы его надувать? Почему жидкость оказывает давление не только на дно сосуда, в который она налита, но и на боковые стенки? Как передается давление внутри газов и жидкостей? Попробуем разгадать все эти загадки давления.

1 Наблюдаем проявления давления газа

Положим слегка надутый завязанный воздушный шарик под колпак воздушного насоса (рис. 18.1, *а*). Если откачивать из насоса воздух, то объем шарика начнет увеличиваться (рис. 18.1, *б*). Попробуем разобраться, почему.

Вам уже известно, что все газы (как и другие вещества) состоят из частиц (молекул или атомов), которые находятся в постоянном хаотичном движении. Поэтому если в герметичном сосуде содержится газ, то его частицы, двигаясь, «бомбардируют» стенки сосуда изнутри и таким образом создают на них давление (рис. 18.2). Конечно, сила удара одной частицы очень мала, однако частиц в газе очень много, и за секунду они производят огром-

ное количество ударов по поверхности стенок сосуда (для поверхности площадью 10 см² это число, которое имеет 25 нулей!). Поэтому сила, с которой действует такое большое количество частиц, значительна.

Частицы газа движутся хаотично, следовательно, давление, которое они создают, не зависит от направления их движения, поскольку количество частиц, движущихся в любом направлении, в среднем одинаково.

Вернемся, однако, к воздушному шарику, о котором шла речь в начале параграфа. Воздух (газ) внутри и снаружи шарика создает давление соответственно на его внутреннюю и внешнюю поверхности. Если это давление одинаково, то сила давления внутри и сила давления снаружи шарика уравновешивают друг друга и резиновая пленка не растягивается. А вот если давление внутри шарика станет больше внешнего давления, то шарик увеличит свой объем. Когда мы надуваем шарик, то увеличиваем давление воздуха внутри шарика; в опыте с воздушным насосом давление воздуха уменьшали извне. Именно поэтому в обоих случаях шарик надувался.

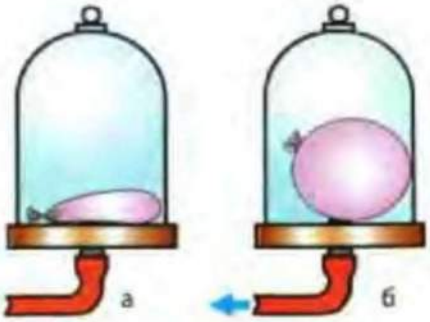


Рис. 18.1. Объем слегка надутого воздушного шарика *(а)* увеличивается при уменьшении внешнего давления *(б)*

2 Выясняем, от чего зависит давление газов

Давление газа создается ударами его частиц, следовательно, увеличение количества их ударов по поверхности приведет к увеличению давления газа. Количество ударов частиц, а значит, давление газа можно увеличить разными способами.

Первый способ — *увеличить плотность газа*, то есть добавить газа внутрь сосуда. Если нужно увеличить плотность постоянной массы газа, то следует уменьшить объем самого сосуда (рис. 18.3).

Второй способ — *увеличить температуру газа*. Из курса физики 7 класса вам известно: чем выше температура газа, тем большей будет скорость движения его частиц. Их удары о стенки сосуда станут более частыми, сила удара каждой частицы возрастет, и, как следствие, давление газа в сосуде увеличится.

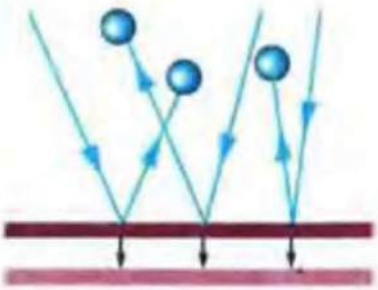


Рис. 18.2. Давление газа на стенки сосуда создается многочисленными ударами по ним молекул газа

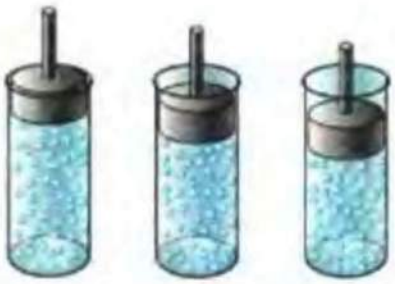


Рис. 18.3. С помощью поршня уменьшают объем газа в сосуде. При этом увеличивается плотность газа, а значит, количество ударов молекул газа на единицу площади стенок сосуда. Следовательно, давление газа увеличится

Рис. 18.4. Жидкость создает давление на боковую поверхность сосуда

Рис. 18.5. С помощью по-разному изогнутых трубок, которые имеют одинаковые по диаметру отверстия, закрытые резиновой пленкой, можно продемонстрировать, что давление на одной глубине одинаково во всех направлениях

3 Исследуем давление жидкостей

В отличие от твердого тела, которое своим весом создает давление только на поверхность, на которой это тело размещено, жидкость создает давление и на дно, и на боковые поверхности сосуда, в котором она находится. Это — следствие текучести жидкостей. Если в боковой поверхности сосуда, заполненного жидкостью, сделать отверстия, то жидкость польется через них (рис. 18.4).

Следствием текучести жидкости является также то, что в любой точке внутри жидкости давление жидкости будет одинаковым во всех направлениях (как и в газах). Возьмем несколько по-разному изогнутых стеклянных трубок одинакового диаметра и закроем их нижние концы резиновой пленкой. Опустим каждую трубку в стакан с водой так, чтобы отверстия, закрытые пленкой, поочередно оказались внутри жидкости в одном и том же месте. Пленка во всех трубках будет растягиваться одинаково — независимо от того, как расположены отверстия (рис. 18.5). Это значит, что давление внутри жидкости в данной точке одинаково во всех направлениях.

а

б

Рис. 18.6. Нажмем на пакет с водой — он, скорее всего, прорвется не в том месте, где на него нажали, а в другом: вода передаст дополнительное давление во все стороны

4 Открываем закон Паскаля

Благодаря текучести жидкость способна передавать давление по всему объему сосуда, в котором она находится. Наберем воды в полиэтиленовый пакет (рис. 18.6, *а*) и завяжем его. Нажмем на пакет — пленка натянется со всех его сторон. Нажмем еще сильнее — пакет прорвется, и, вероятнее всего, не в месте нажатия, а в другом (рис. 18.6, *б*). Аналогичный эксперимент можно провести с воздухом или другим газом.

Объясняет это явление **закон Паскаля:**

Давление, создаваемое на поверхность неподвижной жидкости, передается жидкостью одинаково во всех направлениях.

Почти то же можно сказать и о газах (рис. 18.7).

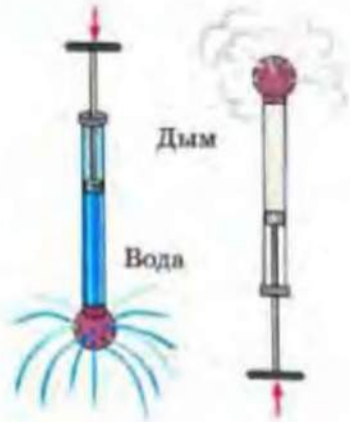


Рис. 18.7. Демонстрация действия закона Паскаля: если с силой толкнуть поршень, вода или дым начнут выходить из отверстий в шарике не только в направлении движения поршня, но и во все стороны

Подводим итоги

Газы создают давление на все внутренние поверхности сосуда вследствие многочисленных ударов об эти поверхности частиц газа.

Давление газа возрастает при увеличении плотности или температуры газа и уменьшается при уменьшении плотности или температуры.

Вследствие своей текучести жидкость создает давление не только на дно, но и на боковые поверхности сосуда.

Давление, которое создается на поверхность неподвижной жидкости, передается жидкостью одинаково во всех направлениях (закон Паскаля).

Почти то же можно сказать и о газах.

Контрольные вопросы

1. Как можно доказать на опыте, что газы создают давление на стенки сосуда, в котором находятся? 2. В чем причина существования давления в газах? 3. Почему давление газов возрастает с увеличением их плотности? 4. Как изменяется давление газов в случае повышения или снижения их температуры? Поясните свой ответ. 5. Почему жидкость создает давление не только на дно сосуда, но и на его боковые поверхности? 6. Сформулируйте закон Паскаля.

Упражнение № 18

1. Чтобы устранить вмятину на теннисном шарике, его можно на некоторое время погрузить в горячую воду. Благодаря чему восстанавливается форма шарика?
2. Какие изменения происходят с поверхностью жидкости в запаянной сверху трубке (см. рисунок) при охлаждении этой трубки?
3. Почему нельзя допускать чрезмерного нагрева газовых баллонов (даже с негорючим газом)?
4. В цилиндре под поршнем площадью 80 см² находится вода. Какой груз нужно положить на поршень, чтобы давление воды на дно цилиндра возросло на 2 кПа?

Экспериментальное задание

Возьмите футбольный мяч и слегка накачайте его. Потом положите мяч на горизонтальную твердую поверхность, сверху прижмите легкой плоской доской, на которую поставьте довольно тяжелый груз известной массы. Определите, на сколько при этом давление внутри мяча будет больше давления воздуха снаружи.

§ 19. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

?! На рис. 19.1 изображен современник Блеза Паскаля, стоящий на кожаной подушке, заполненной водой. С подушкой соединена открытая сверху трубка, которую исследователь держит в руках. Почему доска, на которой он стоит, не сжимает подушку полностью и не вытесняет наружу через трубку всю воду? Ответ на этот и много других вопросов вы найдете в данном параграфе.

Рис. 19.1. Сила давления в кожаной подушке достаточна, чтобы удерживать взрослого человека

1 Исследуем давление жидкостей

Поставим на стол цилиндрический стакан и нальем в него воды (см. рис. 19.2). Вода действует на дно стакана и создает давление. Причина возникновения давления воды — ее притяжение к Земле.

По определению давление $p=\frac{F}{S}$ (1), где F — сила давления, S — площадь, на которую она действует. В данном случае сила, действующая на дно стакана,— это вес жидкости: $F=P=mg$ (2). Массу жидкости можно выразить через объем и плотность жидкости: $m=\rho V$; объем налитой в стакан жидкости — через высоту столба жидкости и площадь дна стакана: $V=hS$. Следовательно, $m=\rho hS$ (3). Подставим формулы (2) и (3) в формулу (1): $p=\frac{mg}{S}=\frac{\rho hSg}{S}=\rho gh$.

Итак, имеем формулу для определения давления, которое создает жидкость на дно сосуда:

$$p=\rho gh$$

Как видим, *давление жидкости на дно сосуда зависит только от плотности жидкости и высоты столба жидкости в сосуде* (рис. 19.2, 19.3). Это давление называют *гидростатическим* (от греч. *hydro* — вода и *statos* — неподвижный).

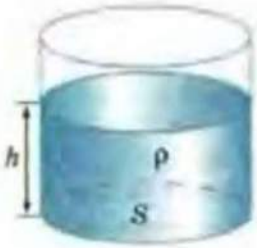


Рис. 19.2. Давление жидкости зависит от высоты h жидкости в сосуде и плотности ρ жидкости; S — площадь дна сосуда

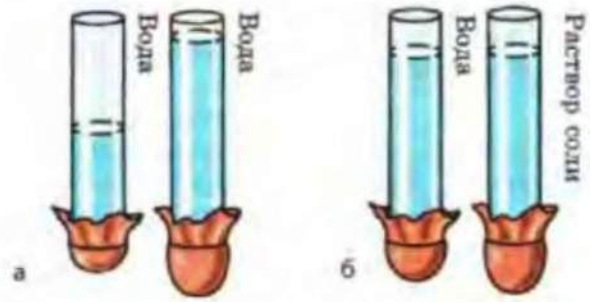


Рис. 19.3. Опыт, доказывающий зависимость давления жидкости от высоты ее столба и плотности. По растяжению резиновой пленки видно: *а* — увеличение высоты столба воды ведет к увеличению ее давления; *б* — жидкость с большей плотностью создает большее давление при одинаковой высоте столбов жидкости

2 Наблюдаем действие гидростатического давления

Зависимость гидростатического давления определенной жидкости только от высоты ее столба впервые продемонстрировал Блез Паскаль. Взяв крепкую бочку, до краев заполненную водой, он герметично закрыл ее крышкой со вставленной длинной тонкой трубкой. Обеспечив герметичность соединения трубки и крышки, Паскаль налил в трубку всего лишь стакан воды. Вода заполнила всю трубку и создала на стенки и дно бочки дополнительное давление. Из-за этого в боковых стенках бочки появились щели (рис. 19.4).

Рис. 19.4. Опыт, проведенный Б. Паскалем в 1648 г., продемонстрировал, что гидростатическое давление зависит от высоты столба жидкости

Из закона Паскаля и факта существования гидростатического давления следует: *давление внутри неподвижной однородной жидкости на одном уровне* одинаково*. Казалось бы, давление воды на дне подводной пещеры должно быть меньше, чем на дне открытого моря (рис. 19.5). Однако, если бы это действительно было так, вследствие бо́льшего давления вода из моря ринулась бы в пещеру. Но этого не происходит.

Рис. 19.5. Давление воды в подводной пещере равно давлению воды в открытом море

3 Учимся решать задачи

Задача. На дне бассейна находится круглое отверстие, закрытое пробкой. Какую минимальную силу нужно приложить к пробке, чтобы вынуть ее из отверстия? В бассейн налита вода до высоты 2 м, радиус пробки — 5 см. Массу пробки и силу трения между пробкой и отверстием не учитывайте.

Дано:
$h = 2$ м
$r = 5$ см $= 0{,}05$ м
$\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$
$g = 10 \frac{Н}{кг}$

F — ?

Анализ физической проблемы

Вынуть пробку мешает сила давления воды в бассейне. Массу пробки и силу трения учитывать не нужно, поэтому минимальная сила, необходимая для того, чтобы вынуть пробку из отверстия, по значению равна силе давления воды на пробку: $F = F_{давл}$ (см. рисунок).

Поиск математической модели, решение

Чтобы найти силу давления воды на пробку, воспользуемся определением давления: $p = \frac{F_{давл}}{S} \Rightarrow F_{давл} = pS$ (1);

* Уровнем называют любую горизонтальную поверхность.

формулой гидростатического давления воды: $p = \rho g h$ (2); формулой площади круга: $S = \pi r^2$ (3).

Подставив в формулу (1) формулы (2) и (3), получим: $F_{вакл} = \rho g h \cdot \pi r^2$. Окончательно: $F = \pi \rho g h r^2$.

Определим значение искомой величины:

$$[F] = \frac{кг}{м^3} \cdot \frac{Н}{кг} \cdot м \cdot м^2 = \frac{кг \cdot Н \cdot м^3}{м^3 \cdot кг} = Н;$$

$$\{F\} = 3{,}14 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 2 \cdot (0{,}05)^2 = 157; \; F = 157 \text{ Н}.$$

Ответ: следует приложить силу 157 Н.

Подводим итоги

В результате притяжения к Земле жидкость создает давление на дно сосуда. Давление p жидкости на дно сосуда называют гидростатическим. Оно зависит только от плотности ρ жидкости и высоты h столба жидкости. Вычисляется гидростатическое давление по формуле $p = \rho g h$.

Давление внутри неподвижной однородной жидкости на одном уровне одинаково.

Контрольные вопросы

1. Назовите причину возникновения давления жидкости на дно сосуда. **2.** По какой формуле вычисляется гидростатическое давление жидкости? **3.** Как изменяется давление в жидкости в зависимости от высоты столба жидкости? от плотности жидкости? **4.** Опишите опыт Б. Паскаля, с помощью которого он продемонстрировал зависимость гидростатического давления определенной жидкости только от высоты ее столба. **5.** Почему давление внутри неподвижной однородной жидкости на одном уровне одинаково?

Упражнение № 19

1. Изменится ли сила давления воды на дно стакана, если в воду погрузить палец, не дотрагиваясь при этом до дна стакана? Если изменится, то как?
2. Давление воды на дно сосуда в точке *A* равно 200 Па (рис. 1). Какое давление на дно создает вода в точках *B*, *C*?
3. На какой глубине давление в машинном масле 8 кПа?
4. Какое усилие нужно приложить, чтобы на глубине 50 м открыть люк подводной лодки? Площадь люка 0,2 м².
5. В два сосуда до одного уровня налили жидкость (рис. 2). Сравните давление и силы давления на дно сосудов. Сделайте вывод.
6. Какова масса исследователя (см. рис. 19.1), если площадь соприкосновения доски, на которой он стоит, и подушки равна 800 см², а вода в трубке установилась на высоте 1 м?

Рис. 1

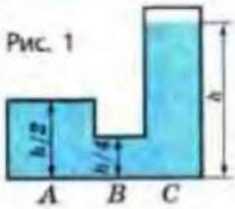
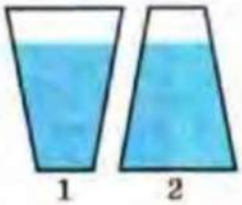


Рис. 2



Экспериментальное задание

Погрузите наполненный воздухом резиновый шарик в ванну с водой. Проследите за изменением объема шарика. Сделайте вывод. Определите, на сколько изменилось давление воздуха внутри шарика на максимальной глубине погружения.

§ 20. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ. БАРОМЕТРЫ. ЗАВИСИМОСТЬ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ ВЫСОТЫ

?! Когда мы делаем, например, глоток воды, то вряд ли размышляем над физикой этого процесса. Однако это, равно как и многое другое, можно объяснить давлением окружающего нас воздуха. Откроем для себя некоторые важные свойства этого давления и научимся его измерять.

1 Убеждаемся в существовании атмосферного давления и наблюдаем его действие

Воздух, окружающий Землю, притягивается к Земле и создает давление на ее поверхность и все тела, находящиеся вблизи нее. Это — *атмосферное давление*.

Атмосферное давление обусловливает существование всасывания — поднятия жидкости за поршнем (в насосах, шприцах, авторучках и т. п.) . Если поднимать ручку поршня, то атмосферное давление, действуя на свободную поверхность жидкости в сосуде, будет нагнетать жидкость по трубке вверх, в пустоту под поршнем (рис. 20.1). Со стороны все выглядит так, будто жидкость поднимается за поршнем сама по себе.

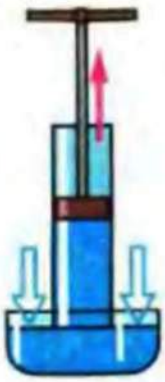


Рис. 20.1. Жидкость поднимается за поршнем, потому что на свободную поверхность жидкости в сосуде действует атмосферный воздух

Кстати, в течение длительного времени это явление приводилось как одно из доказательств известного вывода Аристотеля о том, что «природа боится пустоты». Однако в середине XVII ст. при сооружении фонтанов во Флоренции столкнулись с непонятным явлением — оказалось, что вода, которая всасывается насосами, не поднимается выше 10,3 м (рис. 20.2). Галилео Галилей предложил разобраться в этом своим ученикам — *Эванджелисте Торричелли* и *Винченцо Вивиани*. Решая эту проблему, Э. Торричелли (1608–1647) впервые доказал существование атмосферного давления.

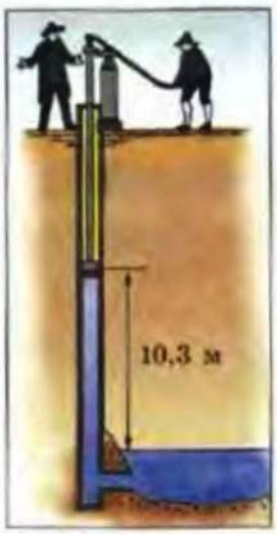


Рис. 20.2. В 1638 г. не удалось украсить сады Флоренции фонтанами, поскольку вода не поднималась выше 10,3 м

2 Измеряем атмосферное давление

Торричелли доверху наполнил ртутью стеклянную трубку длиной около метра, запаянную с одного конца. Потом, плотно закрыв отверстие пальцем, перевернул трубку, опустил ее в сосуд с ртутью и убрал палец — часть жидкости из трубки вылилась в сосуд. В трубке остался

Рис. 20.3. Моделирование опыта Э. Торричелли: высота h ртути в трубке всегда около 760 мм

столб ртути высотой приблизительно 760 мм, а над ртутью образовалась пустота (рис. 20.3). В результате многочисленных опытов Торричелли установил: высота столба ртути, остающейся в трубке, не зависит ни от длины трубки, ни от ее ширины — эта высота немного меняется лишь в зависимости от погоды.

Торричелли сумел также выяснить, чем определяется такая высота столба ртути. Оказалось, что давление на поверхность ртути со стороны атмосферы и гидростатическое давление столба ртути в трубке на одном уровне одинаковы, так как и в трубке, и в сосуде находится однородная неподвижная жидкость. То есть давление столба ртути высотой 760 мм равно атмосферному.

Рис. 20.4. Современный ртутный барометр

Усовершенствованная так называемая трубка Торричелли и линейка представляют собой простейший *барометр — прибор для измерения атмосферного давления* (рис. 20.4).

Давление 760 мм рт. ст. называют *нормальным атмосферным давлением*. Выразим его в единицах СИ — паскалях. Известно, что гидростатическое давление столба ртути вычисляют по формуле $p = \rho g h$; плотность ртути $\rho = 13\,600$ кг/м^3; $g = 9{,}8$ Н/кг; высота столба ртути $h = 0{,}76$ м. Следовательно:

$$p = \rho g h = 13\,600 \text{ кг/м}^3 \times 9{,}8 \text{ Н/кг} \cdot 0{,}76 \text{ м} = 101\,325 \text{ Па} \approx 101 \text{ кПа}.$$

В физике и технике также используют внесистемную единицу атмосферного давления — *атмосферу* (атм): 1 атм = 100 кПа.

3 Изучаем конструкцию барометра-анероида

Барометр Торричелли — довольно точный прибор, однако большой размер, ядовитые пары ртути и хрупкая стеклянная трубка делают его неудобным для повседневного использования. Поэтому сегодня чаще применяют так называемые *барометры-анероиды* (рис. 20.5, *а*).

Главная часть барометра-анероида — легкая и упругая пустая металлическая коробочка *1* (рис. 20.5, *б*) с гофрированной (ребристой) поверхностью. Воздуха в коробочке практически нет. К ее стенке прикреплена стрелка *2*, насаженная на ось *3*. Конец стрелки передвигается по шкале *4*, проградуированной в миллиметрах ртутного столба или паскалях. Все детали барометра помещены внутрь корпуса, спереди закрытого стеклом.

Изменение атмосферного давления приводит к изменению силы, сжимающей стенки коробочки. Изменение изгиба стенок передается стрелке и приводит ее в движение.

Барометры-анероиды в использовании удобнее, чем ртутные приборы, они легки, компактны и безопасны.

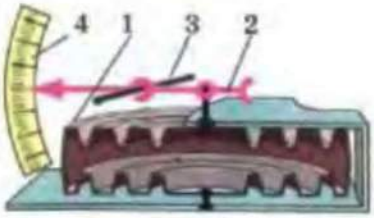


Рис. 20.5. Барометр-анероид

4 Выясняем зависимость атмосферного давления от погоды и высоты

Наблюдая за барометром, легко обнаружить, что его показания изменяются при изменении погоды. Перед ухудшением погоды атмосферное давление обычно падает, а перед солнечной погодой — возрастает.

Однако показания барометра зависят не только от погоды, а и от высоты места наблюдения над уровнем моря. Чем выше мы поднимемся вверх, тем меньшим будет атмосферное давление. Известно, что *вблизи поверхности Земли* давление изменяется так: *через каждые 11 м высоты давление уменьшается приблизительно на 1 мм рт. ст.*

Так как атмосферное давление зависит от высоты, барометр можно проградуировать таким образом, чтобы по давлению воздуха определять высоту. Так был получен *альтиметр* — прибор для измерения высоты (рис. 20.6).

Рис. 20.6. Альтиметр на приборной доске самолета *(а)*; на руке парашютиста *(б)*

! Подводим итоги

Давление воздуха на поверхность Земли и на все тела вблизи нее называют атмосферным давлением. Атмосферное давление, равное 760 мм рт. ст. (101 325 Па или приблизительно 101 кПа $= 10^5$ Па) при температуре 0 °С, принято считать нормальным атмосферным давлением.

Точное измерение атмосферного давления обеспечивает ртутный барометр (барометр Торричелли). Как правило, используют барометры-анероиды — благодаря их удобству, небольшим размерам и безопасности.

С помощью барометров можно определять высоту и прогнозировать изменение погоды. Атмосферное давление уменьшается с высотой, а также перед ненастьем.

Контрольные вопросы

1. Почему существует атмосферное давление? **2.** Какие факты свидетельствуют о существовании атмосферного давления? **3.** Опишите строение и принцип действия ртутного барометра. **4.** Что такое нормальное атмосферное давление? **5.** Опишите конструкцию и принцип действия барометров-анероидов. **6.** Какие преимущества барометров-анероидов обусловили их широкое использование? **7.** Почему с помощью барометров можно предсказывать погоду и измерять высоту?

Упражнение № 20

1. Действует ли на рыбок в аквариуме атмосферное давление? Почему?
2. Объясните, почему с увеличением высоты над уровнем моря атмосферное давление уменьшается.
3. В 1654 г. Отто фон Герике, бургомистр Магдебурга и физик, провел опыт с металлическими полушариями, внутри которых было создано разрежение воздуха (рис. 1). Магдебургские полушария (это название они получили в физике) не смогли оторвать друг от друга 16 лошадей (по 8 с каждой стороны). Что уравновесило действие лошадей и не позволило разъединить полушария?
4. Почему невозможно рассчитать атмосферное давление по формуле $p = \rho g h$, где ρ — плотность воздуха, а h — высота атмосферы?
5. Выразите давление 550 мм рт. ст. в кПа, а давление 93 324 Па — в мм рт. ст.
6. На какой высоте расположена смотровая площадка телевизионной башни, если атмосферное давление у основания башни составляет 760 мм рт. ст., а на высоте площадки — 740 мм рт. ст.?

7*. Какую силу нужно приложить к магдебургским полушариям, чтобы оторвать их друг от друга? Диаметр полушарий 35,5 см, давление внутри — 1/8 атмосферного давления.

Рис. 1. Рисунок Гаспара Шотта «Магдебургские полушария»

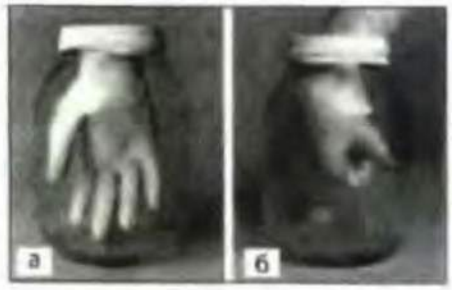


Рис. 2

Экспериментальные задания

1. Наденьте на трехлитровую стеклянную банку резиновую перчатку, как показано на рис. 2, *а*, скотчем загерметизируйте место соединения перчатки и банки и всуньте руку в перчатку (рис. 2, *б*). Теперь попробуйте вынуть руку. Что мешает это сделать? Легче ли будет вынуть руку, если перчатку проколоть? Почему?
2. Наполните до краев стакан водой и накройте его пластиковым файлом. Прижимая файл к краям стакана рукой, переверните стакан кверху дном, а затем уберите руку. Что удерживает воду внутри стакана и прижимает к краям стакана файл? Какой максимальной высоты стакан можно использовать в этом опыте?

§ 21. СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ. МАНОМЕТРЫ

?! Каждый день все пользуются водопроводом. А знаете ли вы, почему, когда мы открываем кран, из него течет вода? Попробуем выяснить, как работает водопровод, используя свойства сообщающихся сосудов, и научимся изготавливать приборы для измерения разности давлений.

1 Исследуем сообщающиеся сосуды

Если в правое колено U-образной трубки наливать воду, то вода будет перетекать в левое колено, и наоборот (рис. 21.1). Если наклонить U-образную трубку, то вода начнет вытекать из колена, которое в результате наклона расположено ниже. U-образная трубка — это пример сообщающихся сосудов.

Рис. 21.1. Если в одно колено U-образной трубки налить жидкость, она перетекает в другое колено

Сообщающиеся сосуды — это сосуды, которые соединены между собой и между которыми может перетекать жидкость.

Если сообщающиеся *сосуды открыты в атмосферу* (рис. 21.2, *а*), то *высоты* h_1 и h_2 *столбов однородной жидкости в них будут одинаковыми.* Докажем это. Так как в однородной неподвижной жидкости давление на одном уровне одинаково, то на уровне AB: $p_1 = p_2 \Rightarrow p_a + \rho g h_1 = p_a + \rho g h_2$, то есть

$$\rho g h_1 = \rho g h_2 \Rightarrow h_1 = h_2.$$

А вот если налить в сообщающиеся сосуды жидкости с разными плотностями, например, воду и керосин, результат будет другим (рис. 21.2, *б*). На уровне CD давления столбов этих жидкостей в обоих сосудах одинаковы, то есть $p_1 = p_2$, или $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$. Отсюда

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$

При условии равновесия жидкостей с различными плотностями в открытых сообщающихся сосудах столб жидкости с меньшей плотностью будет выше, чем столб жидкости с большей плотностью. Отношение высот столбов жидкостей обратно пропорционально отношению их плотностей.

Рис. 21.2. В открытых сообщающихся сосудах однородная жидкость устанавливается на одном уровне (*а*); если жидкости имеют разные плотности, то столб жидкости с меньшей плотностью будет выше (*б*)

2 Изготавливаем жидкостный манометр

На правое колено U-образной трубки, в которую налита однородная жидкость, наденем резиновую грушу. Слегка сожмем грушу — высота столба жидкости в правом колене уменьшится, а в левом

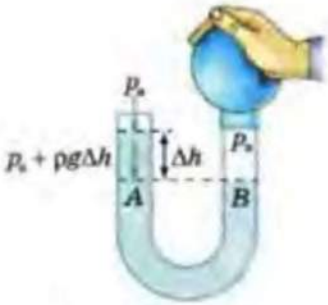


Рис. 21.3. Разница атмосферного давления $p_а$ и давления воздуха $p_в$ компенсируется давлением столба жидкости высотой Δh

увеличится (рис. 21.3). На уровне AB давление в жидкости будет одинаковым. В точке B это будет давление воздуха $p_в$ в правом колене, в точке A — атмосферное давление $p_а$ плюс давление $\rho g \Delta h$ столба жидкости Δh. Следовательно, $p_в = p_а + \rho g \Delta h$.

Таким образом, с помощью U-образной трубки, заполненной однородной жидкостью, и линейки для измерения разности уровней жидкости в коленах трубки можно определить разницу между давлением воздуха (или другого газа) в сосуде и атмосферным давлением: $p_в - p_а = \rho g \Delta h$.

Соответствующий прибор называется *открытым жидкостным манометром* (от греч. *manos* — жидкий, неплотный, и *metron* — мера, измерять) (рис. 21.4). Манометры широко применяют в технике, промышленности, на транспорте.

Рис. 21.4. U-образная трубка, наполненная жидкостью и имеющая шкалу,— открытый жидкостный манометр

3 Заменяем жидкостный манометр металлическим

Жидкостный манометр не всегда удобен, поскольку необходимо наливать жидкость до нужного уровня, производить дополнительные вычисления. Поэтому в технике используют *металлические деформационные манометры* (рис. 21.5).

Основной элемент металлического деформационного манометра — гибкая дугообразная трубка. Ее один конец запаян, а второй соединен с резервуаром, в котором измеряется давление. Принцип действия таких манометров следующий: если давление газа внутри трубки больше атмосферного, то гибкая трубка распрямляется, а ее движение передается стрелке, движущейся вдоль шкалы прибора. После уменьшения давления газа до атмосферного трубка возвращается в первоначальное (недеформированное) положение, а стрелка останавливается на отметке 0.

Рис. 21.5. Металлический деформационный манометр: *а* — общий вид; *б* — конструкция: трубка *1* с помощью передаточного механизма *2* прикреплена к стрелке *3*. Давление определяют по шкале *4*

Шкала металлического манометра проградуирована в паскалях или атмосферах.

4 Учимся решать задачи

Задача. В правое колено открытой U-образной трубки, в которую налита вода, доливают столб керосина высотой 12,5 см. Определите разность уровней воды и керосина в правом и левом коленах U-образной трубки, когда движение жидкостей прекратится. Керосин и вода не смешиваются.

Дано:
$h_к = 12{,}5$ см $= 0{,}125$ м
$\rho_{воды} = 1000\ \frac{кг}{м^3}$
$\rho_к = 800\ \frac{кг}{м^3}$

Δh — ?

Анализ физической проблемы

Когда в сообщающиеся сосуды налита вода, она устанавливается на одном уровне в обоих коленах (рис. 21.6, *а*). Если в правое колено долить керосин, то во втором колене уровень воды поднимется (рис. 21.6, *б*). В однородной жидкости, находящейся в равновесии, на одном горизонтальном уровне давление одинаково. Это справедливо для уровня *AB* и любых уровней ниже, ведь на этом уровне и ниже в правом и левом коленах U-образной трубки будет однородная жидкость — вода.

Рис. 21.6

Поиск математической модели, решение

Разность высот столбов керосина и воды $\Delta h = h_к - h_{воды}$.

Итак, нужно найти высоту столба воды. Воспользуемся формулой гидростатического давления и определим давления жидкостей в точках *A* и *B*: $p_A = \rho_{воды} g h_{воды}$; $p_B = \rho_к g h_к$.

Поскольку сосуды открыты, то $p_A = p_B$, то есть

$$\rho_{воды} g h_{воды} = \rho_к g h_к \Rightarrow h_{воды} = \frac{\rho_к g h_к}{\rho_{воды} g} = \frac{\rho_к h_к}{\rho_{воды}}.$$

Проверим единицу: $\left[h_{воды}\right] = \frac{\frac{кг}{м^3} \cdot м}{\frac{кг}{м^3}} = м$.

Определим значение высоты столба воды:

$$\left\{h_{воды}\right\} = \frac{800 \cdot 0{,}125}{1000} = 0{,}1;\ h_{воды} = 0{,}1\ м = 10\ см;$$

$$\Delta h = 12{,}5\ см - 10\ см = 2{,}5\ см.$$

Ответ: разность уровней воды и керосина в правом и левом коленах сосуда составляет 2,5 см.

Подводим итоги

Сообщающимися называют сосуды, которые соединены между собой и между которыми может перетекать жидкость.

В открытых сообщающихся сосудах разных форм и размеров однородная неподвижная жидкость устанавливается на одном уровне.

Открытые жидкостные манометры — это приборы для измерения давления газов: $p_г = p_а + \rho g \Delta h$, где $p_а$ — атмосферное давление; Δh — разность уровней жидкости в коленах прибора.

На практике широко применяют металлические деформационные манометры.

Контрольные вопросы

1. Каково основное свойство сообщающихся сосудов? 2. Как ведут себя жидкости разной плотности, налитые в сообщающиеся сосуды? 3. Что такое манометр? 4. Как работает открытый жидкостный манометр? 5. Опишите строение и принцип действия металлического деформационного манометра.

Упражнение № 21

1. В жидкостном манометре содержится подкрашенная вода (рис. 1). Левое колено манометра открыто в атмосферу. На сколько отличается давление в сосуде от атмосферного?
2. В жидкостном манометре содержится ртуть (рис. 2). Левое колено манометра открыто в атмосферу. Каково давление в сосуде, если давление атмосферного воздуха равно 100 кПа?

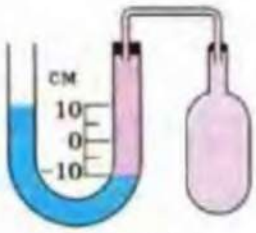


Рис. 1

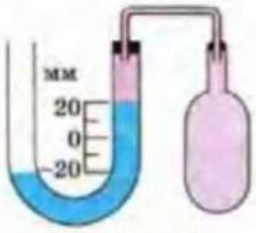


Рис. 2

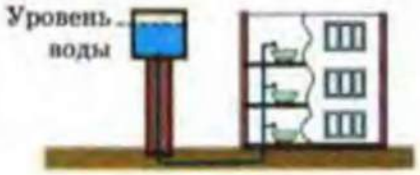


Рис. 3

3. Высота водонапорной башни равна 25 м (рис. 3). Каким будет давление воды в водопроводе в квартире на третьем этаже дома? Высота каждого этажа 3 м, трубы водопровода в квартире расположены на высоте 1 м от пола.
4*. В какой последовательности нужно открывать и закрывать ворота трехкамерного шлюза (рис. 4), чтобы провести судно против течения?

Рис. 4

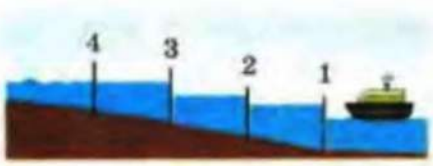


Рис. 5

Рис. 6

Экспериментальные задания

1. Изготовьте дома из корпусов одноразовых шприцев и кусков резиновой трубки сообщающиеся сосуды (рис. 5). Определите условие равновесия в этих сосудах столбов воды и подсолнечного масла.
2. Воспользовавшись прозрачной эластичной трубкой и линейкой, изготовьте манометр для измерения разности давлений в атмосфере и бутылке (рис. 6). Проследите за изменением разности давлений в течение дня; сделайте вывод.

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

В 1930-х годах символом индустриализации стал Днепрогэс. Эта крупнейшая в то время гидроэлектростанция обеспечила энергией несколько заводов-гигантов, принесла электрический свет в тысячи домов Запорожья, Кривого Рога и других городов Украины. После того как дамба высотой более 50 м перегородила Днепр, глубина реки значительно увеличилась. Это обеспечило судоходство в той части Днепра, где были пороги. А чтобы суда могли плыть и дальше, к Черному морю, в конструкции плотины инженеры предусмотрели специальный узел — *шлюз*.

Шлюз представляет собой систему последовательно расположенных «комнат», которые называют камерами. В каждой камере с двух сторон есть «дверь», но нет «крыши». Размеры камер огромны — каждая из них способна вместить одновременно несколько теплоходов. Работает шлюз следующим образом. Судно входит в первую камеру, ее внешняя дверь за ним закрывается, и через систему соединенных труб происходит выравнивание уровня воды со второй камерой (по принципу сообщающихся сосудов). Затем открывается дверь между первой и второй камерами — судно переходит в другую камеру и т. д.

§ 22. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ. НАСОСЫ

?! Знаете ли вы, что с помощью совсем небольшого устройства — гидравлического домкрата — человек может легко поднять автомобиль и даже огромного слона? Что это за устройство и как оно работает, вы узнаете из этого параграфа.

1 Используем для получения выигрыша в силе гидравлический пресс

Гидравлический пресс (рис. 22.1, *а*) состоит из двух соединенных цилиндров разного диаметра, заполненных рабочей жидкостью (чаще машинным маслом) и закрытых подвижными поршнями. Если поршни будут расположены на одном уровне, то давление

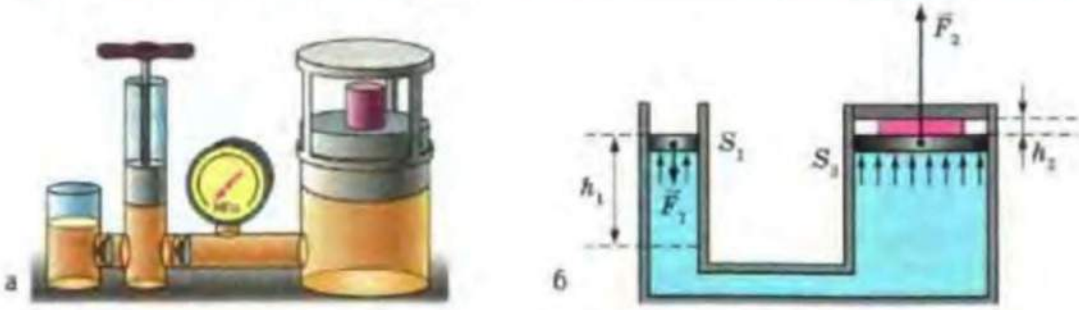


Рис. 22.1. Учебная модель гидравлического пресса, который дает возможность получить выигрыш в силе: меньшая сила (F_1) дает возможность сжимать тела с большей силой (F_2)

жидкости на поршни будет одинаковым (вспомните закон Паскаля). Сила, с которой жидкость действует на поршень, определяется давлением и площадью поршня, поэтому на больший поршень действует бо́льшая сила, а на меньший — меньшая.

Пусть F_1 и F_2 — силы, действующие на поршни пресса; S_1 и S_2 — площади поперечного сечения поршней (рис. 22.1, *б*). Давление, которое жидкость оказывает на поршни, одинаково: $p_1 = p_2$. При этом $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$, а $p_2 = \frac{F_2}{S_2}$, то есть $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$. Таким образом, $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$. *Сила, действующая со стороны жидкости на большой поршень, больше силы, действующей со стороны той же самой жидкости на малый поршень, во столько раз, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого.* Другими словами, сила давления жидкости, действущая на поршень, пропорциональна площади поршня.

Работа пресса заключается в создании на большем поршне большей силы. Нажимая на малый поршень, мы сжимаем масло в малом цилиндре и нагнетаем его в большой цилиндр. Давление масла в большом цилиндре возрастает, и его поршень все сильнее сжимает (то есть прессует) деталь. Гидравлический пресс позволяет

Рис. 22.2. Гидравлические инструменты: пресс (*а*); домкрат (*б*); трубогиб (*в*); гидравлические ножницы (*г*)

получить значительный выигрыш в силе, зависящий от соотношения площадей поршней.

По такому принципу работают и другие *гидравлические инструменты* и *устройства* (рис. 22.2). Гидравлический подъемник дает возможность, приложив небольшую силу, поднять тяжелый автомобиль (рис. 22.3).

Рис. 22.3. Гидравлический подъемник — пример гидравлической машины

2 Используем насосы для откачивания воды

Первыми гидравлическими машинами, которые применялись еще в старину, были всасывающие и нагнетательные насосы.

Во *всасывающем насосе* (рис. 22.4) при поднятии поршня давление в резервуаре под поршнем уменьшается, клапан *a* приоткрывается, а клапан *в* — закрывается. Через открытый клапан вода под действием атмосферного давления p_a поднимается в резервуар под поршнем. Когда поршень движется вниз, клапан *a* закрывается, клапан *b* открывается и вода начинает выливаться через кран насоса. Затем поршень снова движется вверх — и все повторяется. Максимальная высота, на которую можно поднять воду с помощью всасывающего насоса, определяется атмосферным давлением и составляет 10,3 м (вспомните, почему).

В *нагнетательном насосе* (рис. 22.5) при первом движении поршня вверх давление над поверхностью жидкости над клапаном *a* и под клапаном *b* уменьшается. Вследствие этого клапан *a* приоткрывается, а клапан *b* — закрывается. Под действием атмосферного давления p_a вода поднимается за поршнем через открытый клапан *a*. Потом, когда поршень начнет двигаться вниз, из-за увеличения давления под поршнем клапан *a* закроется, а клапан *b* откроется.

Рис. 22.4. Принцип действия всасывающего насоса: вода поднимается за поршнем в результате действия атмосферного давления

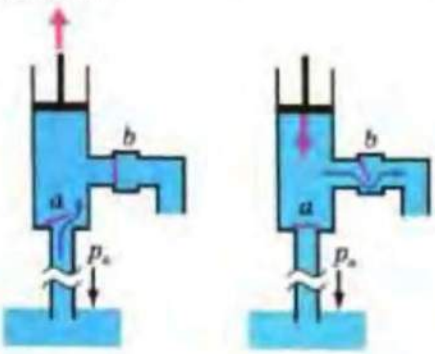
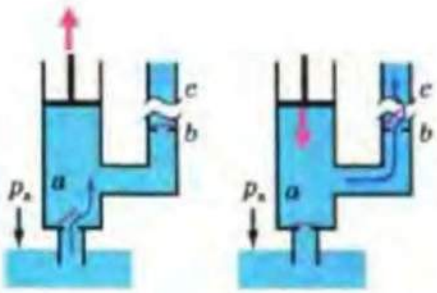


Рис. 22.5. В нагнетательном насосе всасывание воды во время каждого возвратного движения поршня сменяется нагнетанием воды в водопроводную трубу



Поршень через клапан *b* вытеснит воду в вертикальную трубу *c*. Во время второго движения поршня вверх клапан *b* будет закрыт и вода из вертикальной трубы *c* не будет попадать обратно в насос.

Подводим итоги

Свойства сообщающихся сосудов положены в основу действия гидравлических машин и насосов. Равновесие сил в гидравлических машинах достигается при условии, если $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$.

Насосы бывают всасывающие и нагнетательные. Обязательные элементы в устройстве насосов — поршень, цилиндр и клапаны, пропускающие жидкость только в одном направлении.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия гидравлических машин? 2. Сформулируйте условие равновесия поршней гидравлической машины. 3. Где применяют насосы? 4. Какие виды насосов вы знаете? 5. Чем определяется высота, на которую поднимается жидкость во всасывающем насосе?

Упражнение № 22

1. Куда движется поршень насоса (см. рисунок): вверх или вниз?

2. С какой силой действует больший поршень гидравлического пресса, если к меньшему поршню прикладывают силу 100 Н? Площади поршней 2 см² и 2 дм².
3. На больший поршень гидравлической машины действует сила 4000 Н. Какая сила действует на меньший поршень, если площади поршней соответственно 400 см² и 10 см²?
4. Чтобы с помощью гидравлической машины поднять контейнер весом 3000 Н, к малому поршню прикладывают силу 200 Н. Чему равна площадь большого поршня, если площадь малого 4 см²?

5*. Малый поршень гидравлической машины опустился под действием силы 300 Н на 4 см, а большой поднялся на 1 см. Вычислите силу, действовавшую на большой поршень.

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина (ХНУ), основанный в ноябре 1804 г.,— один из старейших университетов Восточной Европы. История ХНУ является неотъемлемой частью интеллектуальной, культурной и духовной истории Украины. С Харьковским университетом связаны имена таких всемирно известных ученых и просветителей, как П. П. Гулак-Артемовский, А. Н. Ляпунов, Н. И. Костомаров, Н. П. Барабашов, Н. Н. Бекетов, Д. И. Багалей, А. Н. Краснов, Н. В. Остроградский, В. А. Стеклов, А. А. Потебня, А. В. Погорелов, и многих других. Харьковский университет — единственный в Украине, с которым связаны имена трех лауреатов Нобелевской премии,— это биолог И. И. Мечников, экономист Саймон Кузнец, физик Л. Д. Ландау.

§ 23. ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА. ЗАКОН АРХИМЕДА

?! Почему мяч, если его погрузить в воду, а затем отпустить, выпрыгивает над поверхностью воды? Почему тяжелый камень, который на суше невозможно сдвинуть с места, легко поднять под водой? Правда ли, что человек в воде находится в состоянии невесомости? Попробуем разобраться!

1 Доказываем существование выталкивающей силы

Подвесим к коромыслу весов два одинаковых шара. Поскольку массы шаров одинаковы, весы уравновешены (рис. 23.1, *а*). Подставим под правый шар пустой сосуд (рис. 23.1, *б*). Затем нальем в сосуд воды и увидим, что равновесие весов нарушится (рис. 23.1, *в*): *на шар в воде действует сила, направленная вверх.*

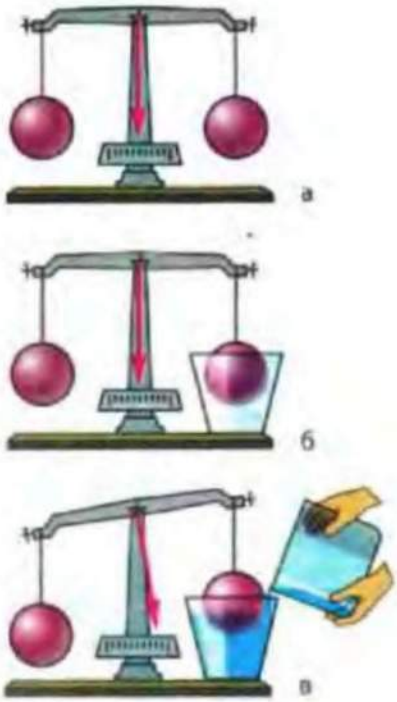


Рис. 23.1. На шар в воде действует сила, направленная вверх

Откуда же берется эта сила? Чтобы разобраться, рассмотрим погруженный в жидкость кубик. На него со всех сторон действуют силы гидростатического давления жидкости (рис. 23.2).

Силы гидростатического давления F_3 и F_4, действующие на боковые грани кубика, равны по значению, но противоположны по направлению: площади боковых граней одинаковы, и грани расположены на одинаковой глубине. Такие силы уравновешивают друг друга.

А вот силы гидростатического давления F_1 и F_2, действующие соответственно на нижнюю и верхнюю грани кубика, не уравновешивают друг друга.

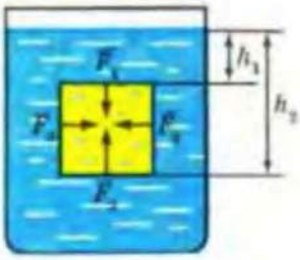


Рис. 23.2. Силы давления, действующие на боковые грани кубика, уравновешены ($F_3 = F_4$). А вот сила давления, действующая на нижнюю грань, больше силы, действующей на верхнюю грань ($F_2 > F_1$)

На верхнюю грань кубика действует сила давления $F_1 = p_1 S$, где $p_1 = \rho g h_1$ (ρ — плотность жидкости), то есть $F_1 = \rho g h_1 S$. Аналогично на нижнюю грань кубика действует сила давления $F_2 = \rho g h_2 S$. Поскольку нижняя грань находится на большей глубине, чем верхняя ($h_2 > h_1$), то сила давления F_2 больше силы давления F_1. Равнодействующая этих сил равна модулю разности сил F_2 і F_1 и направлена в сторону действия большей силы, то есть вертикально вверх. Таким образом, по вертикали вверх на кубик, погруженный в жидкость, будет действовать сила, обусловленная разностью давлений на его нижнюю и верхнюю грани,— *выталкивающая сила*: $F_{выт} = F_2 - F_1$.

Рис. 23.3. Айсберг плавает на поверхности воды благодаря действию выталкивающей (архимедовой) силы

На тело, помещенное в газ, тоже действует выталкивающая сила, но она значительно меньше, чем выталкивающая сила, действующая на тело в жидкости, поскольку плотность газа намного меньше плотности жидкости.

Выталкивающую силу, действующую на тело в жидкости или в газе, называют также *архимедовой силой* (в честь древнегреческого ученого Архимеда, который первым указал на ее существование и вычислил ее значение) (рис. 23.3).

2 Рассчитываем архимедову силу

Вычислим значение архимедовой силы для кубика, погруженного в жидкость (см. рис. 23.2). Поскольку $F_{арх} = F_2 - F_1$, а $F_2 = \rho g h_2 S$ и $F_1 = \rho g h_1 S$, то получим: $F_{арх} = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g S(h_2 - h_1)$.

Разность глубин $(h_2 - h_1)$, на которых находятся нижняя и верхняя грани кубика, является высотой h кубика. Поэтому $F_{арх} = \rho g S h$. Учитывая, что произведение площади S основания кубика на его высоту h равно объему V кубика ($Sh = V$), получаем $F_{арх} = \rho g V$.

Очевидно, что ρV — это масса m жидкости в объеме кубика. Таким образом, $F_{арх} = mg$. То есть *архимедова сила равна весу жидкости в объеме кубика.*

Полученный результат выполняется для тела любой формы, а также в случаях, когда тело погружено в жидкость частично (для расчетов нужно брать только объем погруженной в жидкость части тела). Кроме того, полученные выводы справедливы и для газов.

А теперь сформулируем **закон Архимеда**:

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела:

$$F_{арх} = \rho g V_{погр},$$

где $F_{арх}$ — архимедова сила; ρ — плотность жидкости или газа; $V_{погр}$ — объем погруженной части тела.

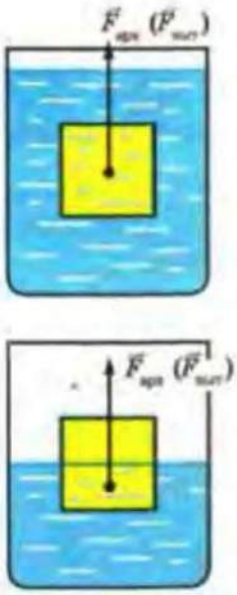


Рис. 23.4. На тело, погруженное в газ либо полностью или частично погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, которую также называют архимедовой силой

Архимедова сила направлена вертикально вверх и приложена к центру погруженной части тела (рис. 23.4).

3 Подтверждаем закон Архимеда экспериментально

Подтвердим справедливость наших теоретических соображений опытным путем. Воспользуемся специальным устройством — «ведерком Архимеда». Устройство состоит из пружины со стрелкой, ведерка, тела, отливного сосуда, стакана.

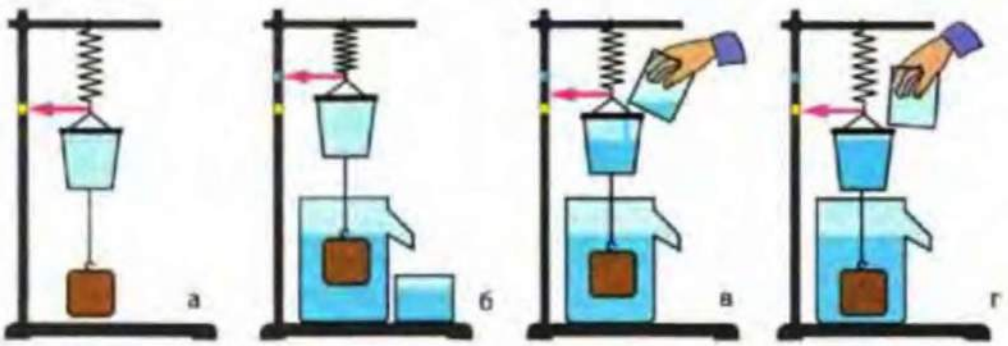
Подвесим пружину, ведерко и тело к штативу (рис. 23.5, *а*) и отметим положение стрелки пружины. Затем в отливной сосуд погрузим тело — оно вытеснит некоторый объем воды, который сольется в стакан (рис. 23.5, *б*). Вследствие действия архимедовой силы пружина сожмется и ее стрелка поднимется выше отметки.

Начнем переливать воду, вытесненную телом, из стакана в ведерко — пружина будет постепенно распрямляться (рис. 23.5, *в*). Когда вся вода будет перелита (рис. 23.5, *г*), стрелка пружины вернется к своему начальному положению, указав точно на отметку! Таким образом, вес воды, вытесненной погруженным в воду телом, уравновесил архимедову силу, то есть $P_в = F_{арх}$. Итак, мы подтвердили справедливость закона Архимеда.

4 Выясняем, что тела в жидкости вес не теряют

Возьмем камешек на нити и подвесим его к динамометру. Динамометр покажет вес камешка. Подставим стакан с водой так, чтобы камешек полностью погрузился в воду. Показание динамометра уменьшится. Кажется, что камешек «утратил» часть своего веса. Однако никакой потери веса тела в жидкости не происходит: вес перераспределяется между подвесом (нитью) и опорой (жидкостью). Даже если архимедова сила, действующая на тело, достаточна, чтобы удержать это тело, и подвес не будет растянут, то тело все равно не находится в невесомости, ведь оно давит на опору — жидкость.

Рис. 23.5. Опыт с «ведерком Архимеда» доказывает: выталкивающая сила равна весу вытесненной телом жидкости



Однако следует отметить: когда тело плавает, его вес распределяется на воду, окружающую всю поверхность тела. Поэтому во время плавания нам кажется, что мы потеряли вес.

Такие комфортные условия для тяжелого тела привели к тому, что вследствие эволюции самые массивные существа на Земле живут в океане (самое крупное животное — синий кит, его масса достигает 150 т, а длина — 35 м).

Именно архимедова сила помогает нам поднимать в воде тяжелые предметы, ведь часть веса этих тел в воде уравновешивается не силой наших рук, а архимедовой силой.

Правда, бывают случаи, когда вода не помогает поднять тело, а, наоборот, мешает. Это случается, когда тело, например довольно большой камень, плотно прилегает ко дну. Чтобы оторвать тело от дна, нужно преодолеть силу тяжести, действующую на тело, а также силу давления воды на верхнюю поверхность тела. (Кстати, то же происходит, когда мы вынимаем пробку из наполненной водой ванны.) Следует отметить, что описанное явление может привести к трагедии: если подводная лодка опустится на глинистое дно и вытеснит из-под себя воду, всплыть сама она уже не сможет.

5 Учимся решать задачи

Задача. Определите архимедову силу, действующую на сплошной алюминиевый брусок массой 540 г, если он полностью погружен в воду и не касается дна и стенок сосуда?

Дано:

$m = 540\ г = 0{,}54\ кг$

$\rho_{ал} = 2700\ \frac{кг}{м^3}$

$\rho_{воды} = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

$g = 10\ \frac{Н}{кг}$

$F_{арх}$ — ?

Анализ физической проблемы

На погруженный в воду алюминиевый брусок действует архимедова сила. Чтобы ее вычислить, нужно знать плотность воды и объем бруска. Чтобы вычислить объем бруска, нужно знать плотность алюминия и воспользоваться определением плотности тела. Плотности воды и алюминия найдем в таблице.

Поиск математической модели, решение

Брусок полностью погружен в воду, поэтому объем воды, вытесненной бруском, равен объему бруска $V_б$. Архимедову силу вычислим по формуле

$$F_{арх} = \rho_{воды} g V_б. \quad (1)$$

Объем бруска найдем из определения плотности:

$$\rho_{ал} = \frac{m}{V_б} \Rightarrow V_б = \frac{m}{\rho_{ал}}. \quad (2)$$

Подставим формулу (2) в формулу (1):

$$F_{арх} = \rho_{воды} g \frac{m}{\rho_{ал}} = \frac{\rho_{воды} m g}{\rho_{ал}}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[F_{арх}] = \frac{\frac{кг}{м^3} \cdot кг \cdot \frac{Н}{кг}}{\frac{кг}{м^3}} = Н;$$

$$\{F_{арх}\} = \frac{1000 \cdot 0{,}54 \cdot 10}{2700} = 2; \; F_{арх} = 2 \text{ Н}.$$

Ответ: на алюминиевый брусок действует архимедова сила 2 Н.

Подводим итоги

На все тела, находящиеся в жидкости или газе, действует выталкивающая сила (архимедова сила). Причина ее появления в том, что гидростатические давления жидкости или газа, действующие на верхнюю и нижнюю поверхности тела, различны.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела: $F_{арх} = \rho g V_{погр}$.

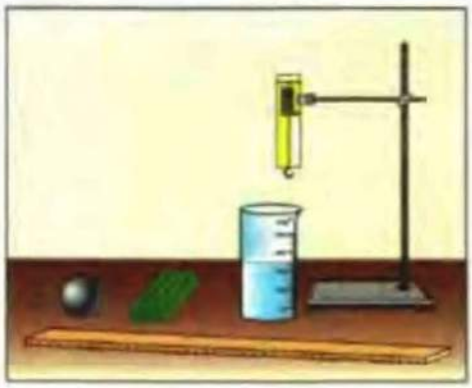
Контрольные вопросы

1. Куда направлена сила, действующая со стороны жидкости или газа на тела, погруженные в них? 2. Назовите причину возникновения выталкивающей силы. 3. Как еще называют выталкивающую силу? 4. Сформулируйте закон Архимеда. 5. Теряет ли вес тело, погруженное в жидкость или газ? Почему? 6. В каких случаях на тело, погруженное в жидкость, не действует выталкивающая сила? Почему?

Упражнение № 23

1. Чтобы оторвать подводную лодку от глинистого дна, водолазы прокапывают под ней рвы. Почему они это делают.
2. Стальной шар объемом 400 см³ погружен в керосин. Вычислите архимедову силу, действующую на шар.
3. На шар, полностью погруженный в ртуть, действует архимедова сила 136 Н. Вычислите объем шара.
4. Алюминиевый брусок массой 2,7 кг частично погружен в воду. При этом на брусок действует архимедова сила 2,5 Н. Какая часть бруска погружена в воду?
5. Каким будет показание динамометра, если подвешенный к нему груз массой 1,6 кг и объемом 1000 см³ погрузить в воду?
6. Если подвешенный к динамометру брусок погружают в воду, то динамометр показывает 34 Н, если в керосин — динамометр показывает 38 Н. Вычислите массу и плотность бруска.
7*. Выполняются ли на искусственном спутнике Земли закон Паскаля и закон Архимеда?
8*. На стальном тросе, жесткость которого 3 МН/м, равномерно поднимают со дна водоема затонувшую статую объемом 0,5 м³. Найдите массу статуи, если удлинение троса равно 3 мм. Сопротивлением воды пренебречь.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9



Тема. Измерение массы тела методом гидростатического взвешивания.

Цель: ознакомиться с одним из методов определения массы тела; измерить массу тела методом гидростатического взвешивания.

Оборудование: ученическая линейка, пружина или динамометр со шкалой, заклеенной бумагой, штатив с муфтой и лапкой, мерный цилиндр с водой, два тела, которые тонут в воде (например, брусок пластилина, брелок, пластиковый шарик).

Теоретические сведения

Метод гидростатического взвешивания удобен тем, что, имея только мензурку, линейку и пружину, можно достаточно точно определить массу тела.

Если исследуемое тело тонет в воде, то для определения его массы методом гидростатического взвешивания тело сначала подвешивают в воздухе на пружине и измеряют удлинение пружины (рис. 1). В этом случае на тело действуют две силы: сила тяжести и сила упругости пружины. При измерении в воздухе действием архимедовой силы можно пренебречь. Поскольку при этом тело находится в покое, то силы, действующие на него, уравновешены $\left(F_{упр} = F_{тяж}\right)$.

Как известно, $F_{упр} = kx_1$ (где x_1 — удлинение пружины), а $F_{тяж} = mg$. Таким образом, получим: $kx_1 = mg$ (1).

Затем исследуемое тело погружают в мерный цилиндр с водой (рис. 2). В этом случае кроме силы тяжести и силы упругости пружины на тело действует архимедова сила. Поскольку при этом тело тоже находится в покое, то силы, действующие на него, уравновешены $\left(F_{упр} + F_{арх} = F_{тяж}\right)$.

Как известно, $F_{арх} = \rho gV$, а $F_{упр} = kx_2$ (где x_2 — удлинение пружины). Таким образом, получим: $kx_2 + \rho gV = mg$; $kx_2 = mg - \rho gV$ (2).

Разделив уравнение (2) на уравнение (1) и выполнив необходимые преобразования, получим окончательную формулу для определения массы тела:

$$m = \frac{\rho V x_2}{x_1 - x_2} \quad (3).$$

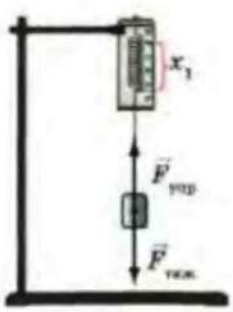


Рис. 1

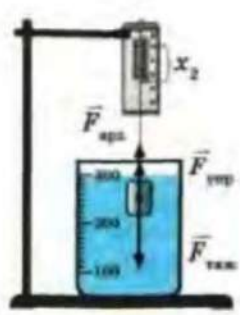


Рис. 2

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, внимательно прочитайте теоретические сведения. Вспомните, при каких условиях выполняется закон Гука, какова причина возникновения силы Архимеда.
2. Соберите устройство, как показано на рисунке, представленном в начале работы.
3. Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.
4. Определите объем V_1 воды в мерном цилиндре.

Эксперимент

Результаты измерений сразу же заносите в таблицу.

1. Обозначьте горизонтальной черточкой положение указателя динамометра при нерастянутой пружине.
2. Подвесьте одно из тел к пружине динамометра, отметьте положение указателя. Линейкой измерьте удлинение пружины x_1.
3. Под подвешенное тело поместите мерный цилиндр с водой. Аккуратно передвигая муфту штатива, полностью погрузите исследуемое тело в воду. Измерьте удлинение пружины x_2 и уровень воды V_2 в мерном цилиндре.
4. Повторите опыт для другого тела.

Обработка результатов эксперимента

1. Для каждого тела:
   1) определите объем V $(V = V_2 - V_1)$;
   2) воспользовавшись формулой (3), вычислите массу.
2. Результаты вычислений занесите в таблицу.

Тело	Объем			Удлинение пружины		Масса тела m, кг
	воды V_1, см³	воды и тела V_2, см³	тела V, см³	x_1, м	x_2, м	

Анализ результатов эксперимента

Проанализируйте результаты. Сделайте вывод, в котором укажите, какую физическую величину и каким образом вы сегодня измеряли, в чем преимущество освоенного вами метода.

Творческое задание

Продумайте и запишите план проведения эксперимента по определению массы тела, которое не тонет в воде. Проведите эксперимент.

§ 24. УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ

?! При приготовлении раствора соли определенной плотности хозяйки погружают в раствор сырое яйцо: если плотность раствора достаточна, то яйцо всплывает, если мала — то тонет. Аналогично определяют плотность сахарного сиропа при консервировании. Об условиях, при которых тело будет плавать в жидкости или газе, вы узнаете в этом параграфе.

1 Выясняем условия плавания тел

Можно привести сколько угодно примеров плавания тел. Плавают корабли и лодки, деревянные игрушки и воздушные шарики, а также рыбы, дельфины, другие существа. А от чего зависит способность тела плавать?

Многочисленные опыты доказывают:

1) тело всплывает на поверхность жидкости или газа, если имеет плотность меньшую, чем плотность жидкости или газа $(\rho_т < \rho_{ж(газа)})$;

2) тело плавает в толще жидкости или газа, если его плотность равна плотности жидкости или газа $(\rho_т = \rho_{ж(газа)})$;

3) тело тонет в жидкости или газе, если имеет плотность большую, чем плотность жидкости или газа $(\rho_т > \rho_{ж(газа)})$.

2 Обосновываем условия плавания тел

Подвесим тело на нить (рис. 24.1, *а*). Если тело находится в равновесии, то сила тяжести, действующая на него, уравновешивается силой натяжения нити. По мере опускания тела в жидкость архимедова сила, действующая на тело, будет возрастать, а сила натяжения нити — уменьшаться.

Далее в зависимости от плотности тела возможны следующие три варианта.

Тело останется на поверхности жидкости, погрузившись в нее частично; нить перестанет быть натянутой (рис. 24.1, *б*). В этом случае архимедова сила уравновешивает силу тяжести: $F_{арх} = F_{тяж}$. Рассчитаем эти силы: $F_{арх} = \rho_ж V_{погр} g$; $F_{тяж} = m_т g = \rho_т V_т g$. Из равенства этих сил, а также учитывая то, что объем погруженной части тела меньше, чем объем всего тела $(V_{погр} < V_т)$, получаем

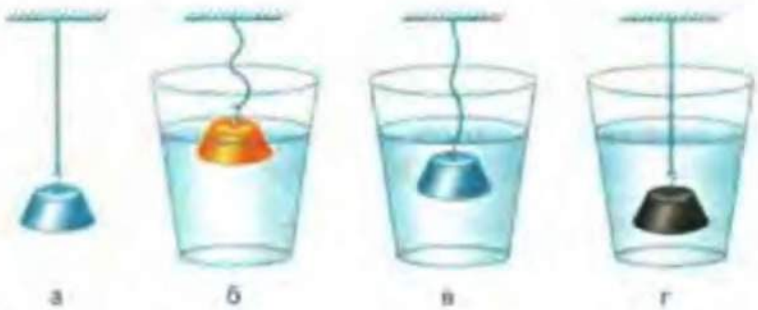


Рис. 24.1. Сила тяжести, действующая на тело, уравновешена силой натяжения нити (*а*); архимедовой силой (*б, в*); силой натяжения нити и архимедовой силой (*г*)

$\rho_т < \rho_ж$. Если нить перерезать, тело останется плавать на поверхности жидкости.

Тело погрузится в жидкость полностью; нить перестанет быть натянутой (рис. 24.1, *в*). В этом случае архимедова сила тоже уравновешивает силу тяжести: $F_{арх} = F_{тяж}$. Понятно, что в формуле для расчета архимедовой силы теперь следует использовать объем всего тела $(V_{погр} = V_т)$. Из равенства архимедовой силы и силы тяжести получаем $\rho_ж = \rho_т$. Если нить перерезать, тело останется плавать в толще жидкости.

Тело погружается в жидкость полностью; нить остается натянутой (рис. 24.1, *г*). В этом случае сила тяжести уравновешивается двумя силами — силой натяжения нити и архимедовой силой: $F_{тяж} = F_{нит} + F_{арх}$. Поэтому сила тяжести больше, чем архимедова сила: $F_{тяж} > F_{арх}$. Из формул для расчета силы тяжести $(F_{тяж} = \rho_т V_т g)$ и архимедовой силы, действующей на полностью погруженное в жидкость тело $(F_{арх} = \rho_ж V_т g)$, получаем $\rho_т > \rho_ж$. Если нить перерезать, то тело станет тонуть и в конце концов опустится на дно сосуда.

Рис. 24.2. Моллюск наутилус плавает благодаря способности изменять объем внутренних пустот в своем организме

3 Наблюдаем плавание тел в живой природе

Тела обитателей морей и рек содержат много воды, поэтому их плотность близка к плотности воды. Водные жители с помощью различных «приемов» могут управлять средней плотностью своего тела, а значит, регулировать глубину погружения в воду. Приведем примеры.

Рыбы с плавательным пузырем могут изменять объем пузыря (чем меньше объем пузыря, тем больше плотность тела рыбы и тем глубже она погружается). Моллюск наутилус (рис. 24.2), живущий в тропических морях, может быстро всплывать и снова опускаться на дно благодаря изменению объема внутренних пустот в своем организме (моллюск живет в закрученной спиралью раковине).

Рис. 24.3. Воздушная оболочка на брюшке позволяет водяному пауку подниматься с глубины на поверхность

Распространенный в Европе водяной паук (рис. 24.3) имеет на брюшке воздушную оболочку — именно она обеспечивает ему запас плавучести и помогает подняться из глубины на поверхность.

4 Учимся решать задачи

Задача. Будет ли плавать в воде медный шар массой 445 г, внутри которого есть полость объемом 450 см³?

Дано:

$m_{шара} = 445$ г

$V_{полости} = 450$ см³

$\rho_{меди} = 8{,}9 \frac{г}{см^3}$

$\rho_{воды} = 1 \frac{г}{см^3}$

$\rho_{шара}$ — ?

Анализ физической проблемы

Чтобы определить, будет ли плавать шар в воде, нужно найти плотность шара и сравнить ее с плотностью воды. Для вычисления плотности шара нужно знать его объем, а он в данном случае складывается из объема медной оболочки и объема полости. Задачу целесообразно решать в единицах, указанных в условии.

Поиск математической модели, решение

Вычислим плотность шара: $\rho_{шара} = \frac{m_{шара}}{V_{шара}}$. (1)

Объем шара $V_{шара} = V_{меди} + V_{полости}$.

Определим объем медной оболочки: $V_{меди} = \frac{m_{шара}}{\rho_{меди}}$.

Тогда $V_{шара} = \frac{m_{шара}}{\rho_{меди}} + V_{полости}$. (2)

Подставив формулу (2) в формулу (1), получим:

$$\rho_{шара} = \frac{m_{шара}}{\frac{m_{шара}}{\rho_{меди}} + V_{полости}}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[\rho_{шара}] = \frac{г}{\frac{г}{\frac{г}{см^3}} + см^3} = \frac{г}{\frac{г \cdot см^3}{г} + см^3} = \frac{г}{см^3};$$

$$\{\rho_{шара}\} = \frac{445}{\frac{445}{8{,}9} + 450} = \frac{445}{500} = 0{,}89; \quad \rho_{шара} = 0{,}89 \frac{г}{см^3}.$$

Ответ: плотность шара меньше плотности воды, поэтому шар в воде будет плавать.

! Подводим итоги

Тело всплывает в жидкости или газе, если его плотность меньше плотности жидкости или газа (если $\rho_т < \rho_{ж(газа)}$).

Тело плавает в толще жидкости или газа, если его плотность равна плотности жидкости или газа (если $\rho_т = \rho_{ж(газа)}$).

Тело тонет в жидкости или газе, если его плотность больше плотности жидкости или газа (если $\rho_т > \rho_{ж(газа)}$).

? Контрольные вопросы

1. Сформулируйте условие, при котором тело, находящееся в жидкости или газе, всплывает. 2. При каком условии тело будет тонуть в жидкости или газе? 3. При каком условии тело будет плавать в толще жидкости или газа?

Упражнение № 24

1. Будет ли свинцовый брусок плавать в ртути? в воде?
2. В сосуд налили ртуть, воду и керосин (см. рисунок). Жидкости не смешиваются. В сосуд опускают три шарика: стальной, пенопластовый и дубовый. Как располагаются слои жидкостей в сосуде? Определите по рисунку, где какой шарик. Ответ поясните.

3. Будет ли брусок массой 120 г и объемом 150 см³ плавать в воде?
4. Тело, полностью погрузившись, плавает в керосине. Какова масса тела, если его объем 250 см³?

Экспериментальные задания

1. Деревянную линейку сначала погрузите в высокий стакан с чистой водой, а потом — в высокий стакан с раствором соли. По глубине погружения линейки определите плотность раствора соли.
2. Определите плотность сырого яйца при условии, что у вас есть стакан с известным объемом воды, пищевая соль и чайная ложка, вмещающая 7 г соли.
3. Изготовьте «картезианского водолаза» (эту «игрушку» придумал Рене Декарт): в пластиковую бутылку налейте воду и поместите в нее отверстием вниз небольшую мензурку (или маленький пузырек из-под лекарства), частично заполненную водой (см. рисунок). Воды в мензурке должно быть столько, чтобы мензурка едва касалась поверхности воды в бутылке. Закройте бутылку пробкой и нажмите на боковые стенки бутылки. Проследите за поведением мензурки. Объясните его.

§ 25. СУДОХОДСТВО И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

?! Плотность стали больше плотности воды, поэтому стальной брусок в воде тонет. Почему же тогда плавают стальные суда? И как огромные воздушные шары вместе с пассажирами в гондолах оказываются легче воздуха и поднимаются вверх? Получить ответы на эти вопросы вам поможет знание основ судоходства и воздухоплавания.

1 Выясняем, почему плавают суда

На первый взгляд, сталь непригодна для изготовления плавучего средства: плотность стали намного больше плотности воды, поэтому стальная пластинка в воде тонет. Но если из этой же пластинки сделать кораблик и опустить его на поверхность воды, кораблик будет плавать (рис. 25.1). Почему? Дело в том, что погруженная в воду часть кораблика вытесняет достаточно жидкости, чтобы архимедова сила уравновесила силу тяжести, действующую

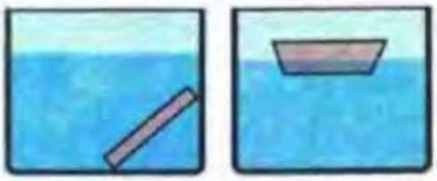


Рис. 25.1. Стальная пластинка тонет, а изготовленный из нее кораблик плавает

на кораблик. Другими словами, средняя плотность кораблика за счет воздуха внутри него становится намного меньше плотности воды. Поэтому кораблик плавает на поверхности воды, лишь немного в нее погружаясь.

Этот принцип лежит в основе конструкции всех плавучих судов. *Их средняя плотность намного меньше плотности воды, и поэтому они плавают на ее поверхности*, погружаясь на относительно небольшую часть своего объема.

2 Выясняем характеристики плавания судов

Когда новое судно спускают на воду, оно начинает погружаться. Нижняя часть судна начинает вытеснять воду, вследствие чего возникает архимедова сила. Когда архимедова сила уравновешивает силу тяжести, действующую на судно, оно прекращает погружение. Глубина, на которую погружается судно, называется *осадкой*.

Рис. 25.2. Обычно корпус судна раскрашен так, что выше ватерлинии он черный или белый, а ниже — соответственно красный или черный

Осадка судна меняется в зависимости от его загрузки и от того, в речной или морской воде оно находится. Разумеется, судно нельзя перегружать. Наибольшая осадка, при которой судно может безопасно плавать, указана на его корпусе специальной линией — *ватерлинией* (рис. 25.2).

Когда судно полностью загружено, то оно «сидит» в воде вровень с ватерлинией. Значение архимедовой силы при такой осадке называется *полным водоизмещением судна*. Самые большие суда — нефтеналивные танкеры — имеют водоизмещение до 5 млн кН, то есть их масса вместе с грузом достигает 500 000 т. Если из полного водоизмещения исключить вес самого судна, то получим *максимальный вес груза, который может принять на борт это судно*, то есть вычислим *грузоподъемность судна*.

Украина имеет свыше полутора тысяч километров морского побережья. В стране есть как морской, так и речной флот, десятки портов, имеющих большое экономическое значение: Одесса, Керчь, Бердянск, Николаев и др.; работают десятки судостроительных и судоремонтных заводов (в Николаеве, Киеве, Херсоне, Одессе и др.).

3 Узнаем, почему летают воздушные шары

Люди уже давно используют для полетов воздушные шары, заполненные горячим воздухом или легким газом.

В воздухе на воздушный шар действует выталкивающая сила. Поскольку *средняя плотность воздушного шара меньше плотности воздуха, выталкивающая сила больше силы тяжести, действующей на шар, и шар поднимается вверх. Разность между выталкивающей силой и силой тяжести составляет подъемную силу воздушного шара.*

Сейчас воздушные шары используют для метеорологических и других исследований, проведения соревнований, туристических и познавательных путешествий.

Воздушные шары, наполненные легким газом (как правило, гелием), называют аэростатами. В последнее время получили распространение воздушные шары, наполненные горячим воздухом,— современные монгольфьеры (рис. 25.3). Высокую температуру воздуха внутри шара поддерживают газовые горелки, установленные в горловине воздушного шара.

Рис. 25.3. Воздушные шары, поднимающиеся благодаря заполнению оболочки горячим воздухом, и сейчас называют монгольфьерами

Поскольку с высотой плотность воздуха уменьшается, воздушные шары не могут подняться на любую высоту. Максимальная высота для них та, на которой плотность воздуха равна средней плотности шара.

4 Учимся решать задачи

Задача 1. В речном порту судно приняло на борт 1000 т груза, из-за чего осадка судна увеличилась на 0,2 м. Какова площадь сечения судна на уровне ватерлинии?

Дано:
$m_{груза} = 1000\ т = 10^6\ кг$
$h = 0{,}2\ м$
$\rho_{воды} = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

S — ?

Анализ физической проблемы

Когда на судно поместили груз, оно увеличило осадку и дополнительно вытеснило определенный объем воды.

Поиск математической модели, решение

По закону Архимеда $P_{воды} = P_{груза}$. Поскольку в данном случае $P = mg$, то $P_{воды} = m_{воды}g$; $P_{груза} = m_{груза}g$. То есть $m_{воды} = m_{груза}$.

Из формулы определения плотности $\rho = \frac{m}{V}$ получим формулу для определения объема дополнительно вытесненной воды:

$$V_{воды} = \frac{m_{воды}}{\rho_{воды}} \Rightarrow V_{воды} = \frac{m_{груза}}{\rho_{воды}}. \quad (1)$$

Площадь сечения S можно вычислить через формулу объема слоя воды:

$$V_{воды} = hS \Rightarrow S = \frac{V_{воды}}{h}. \quad (2)$$

Подставим формулу (2) в формулу (1):

$$S = \frac{m_{груза}}{\rho_{воды} h}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[S] = \frac{кг}{\frac{кг}{м^3} \cdot м} = \frac{кг \cdot м^2}{кг} = м^2;$$

$$\{S\} = \frac{10^5}{1000 \cdot 0{,}2} = 50; \; S = 50 \text{ м}^2.$$

Ответ: площадь сечения судна на уровне ватерлинии равна 50 м^2.

Задача 2. Воздушный шар прекратил свой подъем на высоте 3 км. Какова плотность воздуха на этой высоте, если объем шара 600 м³, а общая масса оболочки шара, газа внутри и гондолы равна 540 кг?

Дано:
$V_{шара} = 600 \text{ м}^3$
$m_{шара} = 540$ кг

$\rho_{возд}$ — ?

Анализ физической проблемы

Если воздушный шар прекратил свой подъем, то это значит, что плотность шара сравнялась с плотностью окружающего воздуха.

Поиск математической модели, решение

$$\left.\begin{aligned} \rho_{шара} &= \rho_{возд} \\ \rho_{шара} &= \frac{m_{шара}}{V_{шара}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \rho_{возд} = \frac{m_{шара}}{V_{шара}}.$$

Проверим единицу: $[\rho_{возд}] = \frac{кг}{м^3}$.

Определим значение искомой величины:

$$\{\rho_{возд}\} = \frac{540}{600} = 0{,}9; \; \rho_{возд} = 0{,}9 \frac{кг}{м^3}.$$

Ответ: плотность воздуха на высоте 3 км составляет $0{,}9 \frac{кг}{м^3}$.

Контрольные вопросы

1. Что вы знаете о средней плотности судна? 2. Что называют осадкой судна и какой линией ее обозначают на корпусе судна? 3. Что такое полное водоизмещение судна? грузоподъемность? 4. Как меняется осадка судна в случае изменения массы груза и плотности воды, в которой находится судно (например, после перехода из моря в реку)? 5. Что такое подъемная сила воздушного шара? 6. Чем ограничена максимальная высота подъема воздушного шара?

Упражнение № 25

1. Изменится ли выталкивающая сила, действующая на судно, если оно перейдет из реки в море? Изменится ли осадка судна?
2. Какой максимальный груз можно перевезти на плоту, если масса плота 100 кг, а его объем составляет 1 м³?
3. Воздушный шарик массой 100 г привязан к нити. Вычислите архимедову силу, действующую на шарик, если сила натяжения нити 1 Н
4. Погруженное в пресную воду судно вытесняет воду объемом 15 000 м³. Чему равен вес груза, если вес пустого судна составляет 5 000 000 Н?
5. Судно в реке вытесняет воду объемом 20 000 м³. На сколько изменится объем воды, вытесняемый судном, когда оно перейдет из реки в море?
6. Объем оболочки воздушного шара 400 м³. Шар натягивает трос, которым он прикреплен к причальной мачте, с силой 800 Н. После освобождения от троса шар поднимается до некоторой высоты. Какова плотность воздуха на этой высоте?

7*. Плотность воздуха у поверхности Земли равна 1,2 кг/м³. Какой должна быть плотность теплого воздуха внутри воздушного шара, чтобы шар поднялся? Объем шара 500 м³, масса оболочки и груза — 150 кг.

Экспериментальное задание

Изготовьте из пластиковой бутылки кораблик и запустите его в плавание в ванне. С помощью соли и чайной ложки определите грузоподъемность вашего кораблика.

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Николаевское государственное предприятие «Судостроительный завод имени 61 коммунара» — одно из мощнейших судостроительных объединений Украины. На предприятии можно строить и ремонтировать военные и гражданские суда.

Поражают размеры предприятия: его производственные мощности расположены в более чем 450 промышленных зданиях. Строительство корпусов судов выполняется на трех стапельных местах, конструкция и оборудование которых позволяют вместе со строительством корпуса выполнять монтаж механизмов. Стапельные места дают возможность строить корпуса судов массой до 20 000 тонн (!).

Сейчас завод выпускает рефрижераторные суда, военные корветы, скоростные патрульные катера и др.

ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 2 «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ»

1. Изучая данный раздел, вы узнали причины изменения скорости движения тел и причины изменения формы и объема тел.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ, ВОЗНИКНОВЕНИЕ СИЛ

- **Силы компенсируются**
  - Прямолинейное равномерное движение
    - движение по инерции (скорость движения не изменяется)
- **Силы не компенсируются**
  - Неравномерное движение
    - прямолинейное неравномерное движение (скорость движения изменяется только по числовому значению)
    - равномерное вращательное движение (скорость движения изменяется только по направлению)
    - колебательное движение (скорость движения изменяется по числовому значению и направлению)
  - Деформация тел

2. Вы познакомились с различными силами.

СИЛЫ

- **Гравитационные**
  - Сила всемирного тяготения
    - сила тяжести $F_{тяж} = mg$
- **Силы молекулярного взаимодействия**
  - Сила трения
    - сила трения покоя $F_{тр.п} < \mu N$
    - сила трения скольжения $F_{тр.ск} = \mu N$
    - сила трения качения
    - сила жидкостного трения
  - Сила упругости $F_{упр} = kx$
  - Сила давления $F_{давл} = pS$
    - архимедова сила $F_{арх} = \rho_{ж(газа)} g V_{погр}$
    - сила атмосферного давления
    - сила гидростатического давления
    - Вес тела $P = mg$

3. Вы выяснили, что тело находится в состоянии равновесия, если:

- **равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна нулю:** $R = 0$;
- **сумма моментов сил, действующих на тело, равна нулю:** $M_1 + M_2 + \ldots + M_n = 0$.

4. Вы научились использовать простые механизмы — рычаг и блок.

Рычаг

- выигрыш в силе зависит от соотношения плеч: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

Блок

- Неподвижный блок
  - выигрыша в силе нет; изменяет направление силы
- Подвижный блок
  - выигрыш в силе в два раза

5. Вы вспомнили, что результат действия одного тела на другое зависит не только от силы, но и от площади соприкасающихся поверхностей.

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

- Площадь поверхности мала → большое давление
- Площадь поверхности велика → маленькое давление

6. Вы узнали о давлении жидкостей и газов, познакомились с законами Паскаля и Архимеда, доказали существование атмосферного давления.

ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Закон Паскаля

- Сообщающиеся сосуды: $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$
- Гидравлические машины: $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$
- Насосы

Закон Архимеда $F_{арх} = \rho_{ж(газа)} g V_{погр}$

- Плавание судов $\rho_{тела} < \rho_{ж}$
- Воздухоплавание $\rho_{тела} < \rho_{газа}$

Атмосферное давление

- Барометр Торричелли
- Барометр-анероид
- Альтиметр

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 2 «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ»

Часть 1. Взаимодействие тел. Силы. Виды сил. Рычаг. Блок

Задания 1—9 содержат только один правильный ответ.

1. *(1 балл)* Что происходит с телом, если на него не действуют другие тела?
   а) тело движется с увеличивающейся скоростью;
   б) тело движется с уменьшающейся скоростью;
   в) тело может находиться только в состоянии покоя;
   г) тело или движется прямолинейно равномерно, или находится в состоянии покоя.

2. *(1 балл)* Деформация тела является причиной возникновения силы:
   а) тяжести;
   б) упругости;
   в) трения скольжения;
   г) трения покоя.

3. *(1 балл)* Взаимодействие Земли и летящего самолета характеризуется силой:
   а) упругости;
   б) трения скольжения;
   в) трения покоя;
   г) тяжести.

4. *(1 балл)* Вес тела — это:
   а) сила притяжения тела к Земле;
   б) сила упругости, возникающая при деформации тела;
   в) сила, с которой тело действует на опору или подвес;
   г) сила трения, возникающая при скольжении одного тела по поверхности другого.

5. *(1 балл)* Неподвижный блок:
   а) дает выигрыш в силе в 2 раза;
   б) не дает выигрыша в силе;
   в) дает выигрыш в силе в 4 раза;
   г) дает выигрыш в расстоянии.

6. *(2 балла)* С какой силой Земля притягивает учащегося массой 40 кг?
   а) 4 Н;
   б) 8 Н;
   в) 40 Н;
   г) 400 Н.

7. *(2 балла)* Чтобы растянуть недеформированную пружину на 5 см, нужно приложить силу 15 Н. На сколько растянется эта пружина, если к ней приложить силу 3 Н?
   а) На 1 см;
   б) 3 см;
   в) 9 см;
   г) 10 см.

8. *(2 балла)* Сплошной чугунный шарик подвешен к динамометру (рис. 1). Каков объем шарика?
   а) 350 см³;
   б) 70 см³;
   в) 50 см³;
   г) 35 см³.

Рис. 1

9. *(2 балла)* Стальная балка массой 800 кг лежит, опираясь на две опоры. С какой силой балка давит на вторую опору, если на первую она давит с силой 2800 Н?

а) 2000 Н; в) 2800 Н;
б) 1200 Н; г) 5200 Н.

10. (*3 балла*) С помощью динамометра брусок равномерно тянут по столу в горизонтальном направлении. На рис. 2 изображены действующие на него силы. Назовите эти силы. Сравните их.

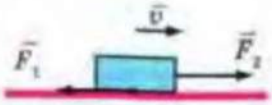


Рис. 2

11. (*3 балла*) На полу лежит кирпич массой 8 кг. На него кладут еще один такой же массы (рис. 3). Сделайте схематический рисунок в тетради и изобразите силы, действующие на нижний кирпич. Масштаб: 1 см — 40 Н.

Рис. 3

12. (*3 балла*) Ведро объемом 12 л наполнили водой на одну треть. На сколько изменилась сила, с которой ведро давит на пол?

13. (*3 балла*) Длина нерастянутой пружины равна 10 см. Чтобы увеличить ее длину до 16 см, нужно приложить силу 3 Н. Какова жесткость пружины?

14. (*3 балла*) Какова масса саней, если для равномерного движения по горизонтальной дороге к ним надо прикладывать горизонтальную силу 500 Н? Коэффициент трения между санями и дорогой равен 0,2.

Рис. 4

15. (*4 балла*) Общая масса двух грузов на рис. 4 равна 25 кг. Какова масса каждого груза, если рычаг находится в равновесии?

16. (*4 балла*) Какую силу надо приложить к свободному концу шнура (рис. 5), чтобы равномерно поднимать груз массой 12 кг? На какую высоту поднимется груз, если точка *A* переместится на 20 см?

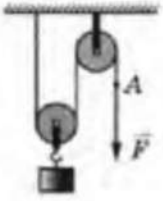


Рис. 5

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

Часть 2. Давление. Атмосферное давление. Закон Архимеда. Условия плавания тел

Задания 1–11 содержат только один правильный ответ.

1. *(1 балл)* По какой формуле можно вычислить давление жидкости на дно сосуда?

а) $P = gm$; б) $F = pS$; в) $\rho = \frac{m}{V}$; г) $p = g\rho h$.

2. (*1 балл*) Давление воды в сосуде:

а) одинаково во всех точках;
б) возрастает с увеличением глубины;
в) уменьшается с увеличением глубины;
г) является разным в точках, находящихся на одном уровне.

3. (*1 балл*) С помощью ручного насоса мальчик накачал шины велосипеда. Давление воздуха в шинах возросло вследствие:

а) увеличения объема шин;
б) увеличения массы воздуха в шинах;
в) уменьшения плотности воздуха в шинах;
г) уменьшения скорости молекул воздуха внутри шин.

4. (*1 балл*) Давление тела на опору тем больше, чем:

а) больше вес тела и больше площадь опоры;
б) больше вес тела и меньше площадь опоры;
в) меньше вес тела и меньше площадь опоры;
г) меньше вес тела и больше площадь опоры.

5. (*1 балл*) Замена колес на гусеницы позволяет значительно повысить проходимость трактора. Это происходит вследствие:

а) увеличения мощности двигателя трактора;
б) увеличения массы трактора;
в) уменьшения давления трактора на почву;
г) увеличения максимальной скорости трактора.

6. (*1 балл*) Для измерения атмосферного давления используют:

а) барометр-анероид; в) динамометр;
б) жидкостный манометр; г) термометр.

7. (*1 балл*) При каком условии тело плавает на поверхности жидкости?

а) Если плотность тела меньше плотности жидкости;
б) плотность тела больше плотности жидкости;
в) плотность тела равна плотности жидкости;
г) архимедова сила меньше силы тяжести.

8. *(2 балла)* Какова высота слоя керосина в бидоне, если его давление на дно бидона равно 800 Па?

а) 1 мм; б) 1 см; в) 1 дм; г) 1 м.

9. (*2 балла*) На горизонтальной поверхности стола расположены три кубика одинакового размера — медный, алюминиевый и чугунный. Какой кубик создает на стол наибольшее давление?

а) медный; в) чугунный;
б) алюминиевый; г) давление всех кубиков одинаково.

10. (*3 балла*) Выразите в миллиметрах ртутного столба давление 136 кПа.

а) 750 мм рт. ст.; в) 900 мм рт. ст.;
б) 760 мм рт. ст.; г) 1000 мм рт. ст.

11. (*3 балла*) В жидкостный манометр налита ртуть (рис. 1). Правое колено манометра соединено с газовым баллоном, а левое открыто в атмосферу. Каково давление в баллоне, если атмосферное давление равно 750 мм рт. ст.?

а) 690 мм рт. ст.; в) 780 мм рт. ст.;
б) 720 мм рт. ст.; г) 810 мм рт. ст.

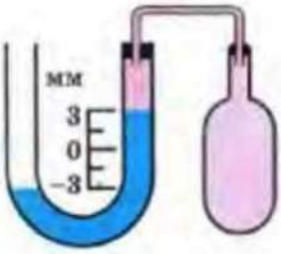


Рис. 1

12. (*3 балла*) На какой глубине давление в озере равно 250 кПа?

13. (*3 балла*) На рис. 2 изображена гидравлическая машина. На малом поршне расположен груз массой 10 кг, на большом — массой 160 кг. Диаметр малого поршня гидравлической машины 4 см. Каков диаметр большого поршня, если поршни находятся в равновесии и их массами можно пренебречь?

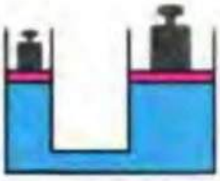


Рис. 2

14. (*4 балла*) На рис. 3 изображены сообщающиеся сосуды. Сначала в эти сосуды была налита вода. Потом поверх воды в левый сосуд налили слой керосина высотой 20 мм. Найдите разность уровней жидкости в сообщающихся сосудах. Керосин и вода не смешиваются.

Рис. 3

15. (*4 балла*) Сплошной однородный брусок плотностью 0,7 г/см³ плавает в воде, причем его часть объемом 60 см³ находится над водой. Каков объем бруска?

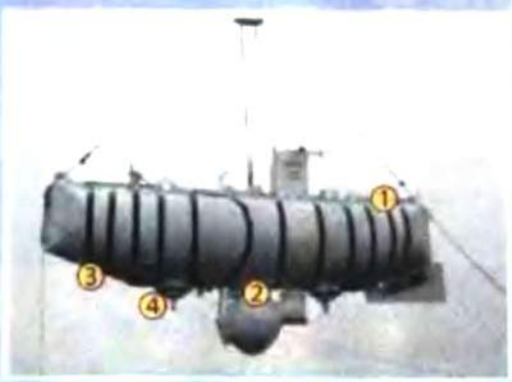
16. (*4 балла*) Если шарик, подвешенный на нити, полностью погрузить в воду, то сила натяжения нити будет равна 3 Н. Если же этот шарик погрузить в керосин, то сила натяжения нити будет равна 3,2 Н. Какова плотность материала, из которого изготовлен шарик?

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

Зачем ныряльщику воздушный шар

Когда-то воздушный шар был сконструирован для полетов человека «за облака». Сегодня благодаря развитию техники воздушные шары и дирижабли используют преимущественно для развлечений. Реализация же самой идеи в другой области техники позволила создать *батискафы* — аппараты для глубоководных исследований. Самым известным из них стал *«Триест»*, который в январе 1960 г. достиг самой глубокой точки в Мировом океане — Марианской впадины.

Попробуем представить ход мыслей конструкторов батискафа. Если поместить воздушный шар на поверхность моря и нагрузить его балластом так, чтобы вся конструкция оказалась тяжелее воды, то, естественно, шар начнет погружаться в воду и спустя некоторое время достигнет дна. Если после этого сбросить балласт, то шар всплывет на поверхность. Однако это общая идея, а как ее реализовать на практике? Инженерные решения, использованные в «Триесте», понятны по приведенным фото.



Батискаф «Триест»

Основной элемент конструкции батискафа — «воздушный шар» *(1)*. Однако воздухом наполнять такой шар не следует, поскольку давление на большой глубине его просто раздавит. Конструкторы предложили наполнить шар бензином: во-первых, бензин легче воды и не хуже воздуха обеспечит всплытие аппарата, во-вторых, стенки шара в таком случае можно сделать достаточно тонкими, а значит, легкими, поскольку от деформации их будет защищать несжимаемость жидкости внутри. Гондола с толстыми стенками (толщиной 127 мм) *(2)* — надежное убежище для экипажа из двух человек. Балласт (железная дробь) засыпан в похожие на перевернутые бидоны емкости с крышками *(3)*, закрывающимися электромагнитными замками *(4)*.

В случае аварии такое техническое решение обеспечивает надежную защиту исследователя и пилота. Питание батискафа осуществляется от аккумуляторов, имеющих ограниченный ресурс. Это значит, что спустя некоторое время после аварии (например, батискаф застрял на дне) аккумуляторы разрядятся и прекратят подавать ток к электромагнитным замкам. В результате крышки откроются, балласт упадет на дно, а батискаф всплывет на поверхность. К счастью, эта мера безопасности так и не пригодилась.

С момента рекордного погружения «Триеста» прошло почти полстолетия. За это время человечество осуществило настоящий прорыв во многих областях техники, но конструкция «Триеста» осталась непревзойденной.

Полеты на поезде, или Что такое маглев

Если человеку не хватает сил передвинуть тяжелый шкаф, то он может принять стандартное решение — увеличить силу, то есть позвать на помощь соседа. А может вспомнить, что шкаф плохо передвигается из-за большой силы трения, и, позвав добросовестного учащегося 8 класса, вместе с ним придумать, как уменьшить эту силу. В результате они, например, могут подложить под углы (опоры) шкафа пластиковые крышки, которыми обычно закрывают банки для консервирования. Сила трения уменьшится, и теперь, чтобы передвинуть шкаф, будет достаточно усилий одного человека. А как решают подобные задачи в случае создания сложных технических устройств?

Маглев-поезд в Шанхае (Китай)

Чтобы уменьшить силу трения, инженеры обычно используют различные смазочные масла — вещества, обеспечивающие более легкое скольжение соприкасающихся поверхностей. А еще силу трения скольжения можно уменьшить, использовав соответствующие соприкасающиеся материалы — вспомните пример со шкафом. Однако как ни облегчай скольжение, поверхности будут соприкасаться и трение останется. Вот если бы тот же шкаф мог летать... Тогда и первоклассник смог бы его передвинуть! И было придумано вот что. Инженеры, которые изобрели *маглев* (сокращенное от англ. *magnetic levitation* — «магнитная левитация»), наверное, добросовестно изучали физику. Попробуем в этом убедиться.

Вспомним: если взять два магнита и сблизить их одноименные полюса, магниты будут отталкиваться. А теперь проведем мысленный эксперимент. Что будет, если мощный магнит разместить, например, на подставке, а сверху к нему одноименным полюсом поднести небольшой магнит? Если второй магнит будет достаточно легким — таким, чтобы сила магнитного отталкивания уравновесила силу притяжения Земли,— то он должен летать в воздухе!

Устройства, использующие описанный выше эффект, получили общее название «маглев». Наиболее впечатляющими, пожалуй, являются маглев-поезда. Во время движения такие поезда не касаются рельсов — они удерживаются над ними мощными магнитами. Таким образом, трение по опоре отсутствует, а препятствует движению маглев-поездов только сопротивление воздуха (как у самолетов!). Именно поэтому скорость движения маглев-поезда можно сравнить со скоростью движения самолета (до 500 км/ч).

РАЗДЕЛ 3. **РАБОТА И ЭНЕРГИЯ**

§ 26. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ

?! На первый взгляд, привести примеры ситуаций, когда выполняется работа, очень просто. Работу выполняют станки и машины, механизмы и устройства, строитель, укладывая кирпичи, программист, сидя за компьютером. А выполняет ли работу учащийся, который неподвижно держит в руках тяжелый портфель? решает задачу? И вообще, что имеют в виду физики, говоря о работе?

1 Определяем физический смысл работы

В повседневной жизни словом «работа» мы называем полезное действие человека или какого-либо устройства. Например, мы говорим: плотник за работой, работа телевизора. В физике же термин «работа» имеет более строгое значение.

Рассмотрим силы, действующие на некоторое тело. Так, на рис. 26.1 буксир тянет баржу и действует на нее с определенной силой — силой тяги $(F_{тяги})$. Груз, расположенный на барже, давит на нее с силой давления $(F_{давл})$.

Рис. 26.1. Буксир действует на баржу и перемещает ее. Груз также действует на баржу, но под его действием баржа не перемещается

Физики говорят: сила тяги выполняет механическую работу, поскольку баржа движется в направлении силы тяги; сила давления механической работы не выполняет, поскольку баржа в направлении силы давления (то есть вниз) не движется.

Чем больший путь пройдет баржа под действием силы тяги, тем бо́льшая механическая работа будет выполнена этой силой. Механическая работа увеличится и в случае возрастания силы тяги: это произойдет, если, например, на баржу положить дополнительный груз или заставить буксир с баржей двигаться с большей скоростью.

В общем случае механическая работа, выполняемая определенной силой, зависит от значения силы и пути, пройденного телом под действием этой силы.

Механическая работа — это физическая величина, равная произведению силы на путь, пройденный телом под действием этой силы.

Механическую работу обозначают символом A и вычисляют по формуле

$$A = Fl,$$

где F — сила, действующая на тело; l — путь, пройденный телом в направлении этой силы.

Единица работы в СИ — **джоуль** (Дж). Она получила название в честь английского ученого *Джеймса Джоуля* (рис. 26.2).

1 Дж — *это механическая работа, выполняемая силой* 1 Н *при перемещении тела на* 1 м *под действием этой силы*, то есть 1 Дж = 1 Н·1 м.

Рис. 26.2. Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889), известный английский физик, экспериментально доказал закон сохранения энергии, определил механический эквивалент тепла

2 Выясняем, какие значения может иметь механическая работа

Вы знаете, что сила имеет направление. *Работа силы, действующей на тело, не имеет направления, но она может быть положительной, отрицательной или равной нулю* — в зависимости от того, куда направлена сила относительно направления движения самого тела.

Если направление силы совпадает с направлением движения тела (сила «ускоряет» движение тела), то механическую работу этой силы считают *положительной* (рис. 26.3, *а*).

Если направление силы противоположно направлению движения тела (сила «тормозит» движение тела), то механическую работу этой силы считают *отрицательной* (рис. 26.3, *б*).

Если направление силы перпендикулярно направлению движения тела, то такая сила механической работы не выполняет, то есть ее работа *равна нулю* (рис. 26.3, *в*).

Например, автомобиль движется по прямолинейному участку дороги. На него действуют сила тяжести, сила реакции опоры, сила тяги двигателей, сила сопротивления движению. Сила тяги выполняет положительную работу, сила сопротивления — отрицательную; работа силы тяжести и работа силы реакции опоры равны нулю.

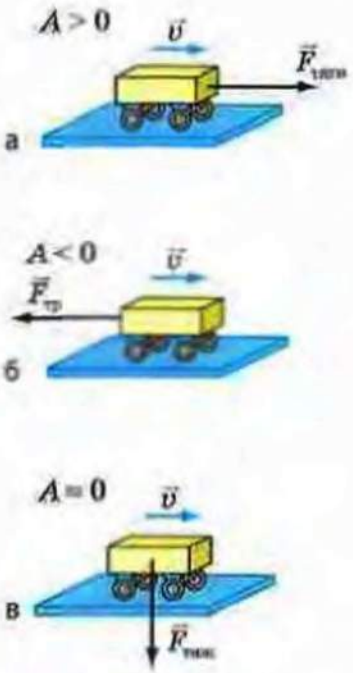


Рис. 26.3. В зависимости от направления силы и направления движения тела, к которому эта сила приложена, механическая работа может быть положительной (*а*); отрицательной (*б*); равной нулю (*в*)

3 Учимся решать задачи

Задача. Под действием силы 10 Н брусок скользит по столу с постоянной скоростью 5 см/с. Какую работу выполнит данная сила за 20 с?

Дано:
$F = 10$ Н
$v = 5\frac{см}{с} = 0{,}05\frac{м}{с}$
$t = 20$ с

A — ?

Анализ физической проблемы

Чтобы вычислить работу по перемещению бруска, которую выполнит сила, нужно определить путь, пройденный бруском.

Поиск математической модели, решение

По определению $A = Fl$.

Поскольку $l = vt$, то окончательно получим:

$$A = Fvt.$$

Определим значение искомой величины:

$$[A] = Н \cdot \frac{м}{с} \cdot с = Н \cdot м = Дж;$$

$$\{A\} = 10 \cdot 0{,}05 \cdot 20 = 10;\ A = 10\ Дж.$$

Ответ: сила выполнит работу 10 Дж.

! Подводим итоги

Механической работой называют физическую величину, равную произведению силы на путь, пройденный телом под действием этой силы.

Механическая работа определяется по формуле $A = Fl$.

Единица работы в СИ — джоуль (Дж); 1 Дж = 1 Н · 1 м.

В зависимости от направления действия силы и направления движения тела механическая работа может иметь положительное значение, отрицательное значение или равняться нулю.

? Контрольные вопросы

1. Что мы понимаем под словом «работа» в повседневной жизни? 2. Что такое механическая работа с точки зрения физики? 3. Какие условия необходимы для выполнения механической работы? 4. Как зависит значение механической работы от силы и пути, пройденного телом под действием этой силы? 5. Назовите единицы работы в СИ. 6. В честь какого ученого названа единица работы? 7. Что такое джоуль? 8. В каких случаях работа силы имеет положительное значение? отрицательное значение? равна нулю?

Упражнение № 26

1. Груз неподвижно висит на пружине. Выполняет ли работу сила упругости, действующая на груз? сила тяжести?
2. Выполняет ли работу сила тяжести, действующая на баскетбольный мяч, который: а) лежит на земле; б) катится по полу спортивного зала; в) летит вверх; г) падает? Если выполняет, то какую — положительную или отрицательную?
3. Приведите примеры ситуаций, когда сила, действующая на тело, выполняет положительную работу; отрицательную работу; не выполняет работы.
4. Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите. Выполняет ли работу сила тяжести, действующая на спутник?

5*. Приведите примеры ситуаций, когда сила трения покоя выполняет работу.

6. По поверхности стола переместили с постоянной скоростью груз, приложив горизонтальную силу 50 Н. При этом была выполнена работе 150 Дж. Какой путь прошел груз?

7. Камень массой 4 кг падает с высоты 5 м. Какая сила выполняет при этом положительную работу? Чему равна эта работа?

8. Мальчик ведет велосипед, прикладывая горизонтальную силу 40 Н. При этом велосипед движется равномерно. Найдите скорость движения велосипеда, если за 5 мин мальчик выполнил работу 12 кДж.

9. Поршень в цилиндре равномерно передвинулся на 4 см под действием силы давления газа (см. рисунок). Вычислите работу, выполненную силой давления. Давление газа в цилиндре постоянно и равно 0,6 МПа; площадь поршня составляет 0,005 м².

10. Какую работу надо выполнить, чтобы поднять со дна на поверхность озера камень массой 15 кг? Глубина озера 2 м, средняя плотность камня — 3000 кг/м³. Сопротивлением воды можно пренебречь.

Экспериментальное задание

Вычислите, какую работу вы выполняете, переставляя с пола на стул ведро, наполненное водой. Какую работу при этом выполняет сила тяжести, действующая на ведро?

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Сергей Павлович Королев (1907–1966) — всемирно известный ученый и конструктор, создатель стратегического космического оружия средней и межконтинентальной дальности в Советском Союзе, основатель практической космонавтики.

С помощью ракет, созданных под руководством С. П. Королева, в 1957 г. был запущен первый искусственный спутник Земли; удалось сфотографировать обратную сторону Луны; в 1961 г. первый космонавт нашей планеты Юрий Алексеевич Гагарин совершил полет в космос.

На созданных Королевым космических кораблях «Восток» состоялся первый полет женщины в космос, впервые был совершен выход человека в открытый космос.

Многие идеи ученого были реализованы уже после его смерти. Так, технические решения, воплощенные в космическом корабле «Союз», заложили основы для создания орбитальных станций.

За научные заслуги С. П. Королев был избран действительным членом Академии наук СССР, ему дважды было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

В честь С. П. Королева названы улицы во многих городах бывшего Советского Союза, в частности в Киеве, Москве. Имя выдающегося ученого было присвоено двум научно-исследовательским судам, высокогорному пику на Памире, перевалу на Тянь-Шане.

С Украиной С. П. Королев был тесно связан в молодые годы. Он родился в Житомире, учился в Киевском политехническом институте, свои первые разработки летательных аппаратов-планеров испытывал в Крыму, недалеко от Коктебеля.

§ 27. МОЩНОСТЬ

?! Возможно, основной толчок в развитии человеческой цивилизации произошел в то время, когда человек научился делать простые орудия труда и оружие, строить примитивное жилье, пахать землю. Сначала он использовал для выполнения работы только свою мышечную силу, затем — силу домашних животных: лошадей, быков, ослов, верблюдов, и это позволило ту же работу выполнять за меньшее время. Однако настоящий прорыв в развитии человечества произошел благодаря использованию машин и механизмов: автомобилей, судов, поездов, кранов, экскаваторов и т. п. Современные машины могут выполнять работу в тысячи раз быстрее человека. Какая же характеристика машин является показателем их эффективности?

1 Знакомимся с мощностью

Машинам и людям для выполнения одной и той же работы требуется разное время. Так, если экскаватор и землекоп одновременно начнут копать траншеи (рис. 27.1), то понятно, что экскаватор выполнит работу значительно быстрее, чем землекоп. Точно так же кран быстрее перенесет нужное количество кирпичей, чем грузчик (рис. 27.2). В физике скорость выполнения работы характеризуют *мощностью*.

Мощность — это физическая величина, характеризующая скорость выполнения работы и численно равная отношению выполненной работы ко времени, за которое эта работа была выполнена.

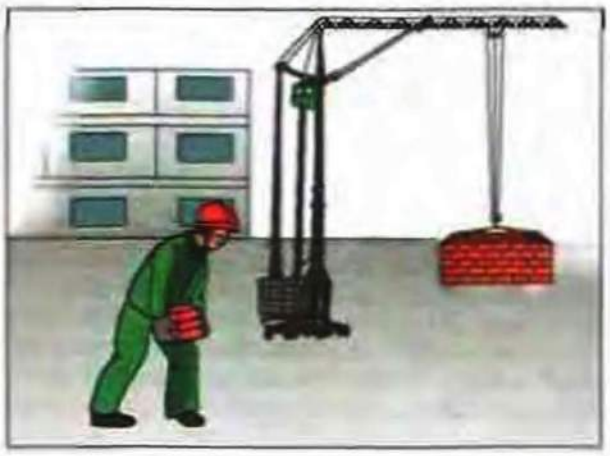
Мощность обозначается символом N и определяется по формуле

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

где A — работа; t — время, за которое эта работа была выполнена.

Рис. 27.1. Экскаватор выполнит ту же работу гораздо быстрее, чем землекоп

Рис. 27.2. Строительный кран переносит за один раз гораздо большее количество кирпичей, чем грузчик



Единица мощности в СИ — **ватт** (Вт)*. Она получила свое название в честь английского ученого *Дж. Уатта* (рис. 27.3).

1 ватт — *это мощность, при которой в течение* 1 с *выполняется работа* 1 Дж, то есть $1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{с}}$.

Рис. 27.3. Джеймс Уатт (1736–1819), английский изобретатель-механик, создатель универсальной паровой машины

Из определения мощности следует, что *мощность численно равна работе, выполненной за одну секунду*. Значит, при выполнении механической работы бóльшую мощность развивает то тело, которое за то же время выполняет бóльшую работу.

В таблице приведена мощность двигателей некоторых технических средств:

Техническое средство	Мощность	
	кВт	лошадиные силы, л. с.
Двигатели CD-RW, CD-ROM	0,01–0,02	—
Стиральные машины	0,15–0,90	—
Пылесосы	1,3–2,0	—
Мотороллеры (скутеры)	3,0–7,5	4,1–10,0
Мотоциклы	11–74	15–100
Легковые автомобили	37–150	50–200
Тракторы	45–260	62–350
Грузовые автомобили	35–515	50–700
Вертолеты	425–7350	575–10 000
Самолет АН-140 (1 двигатель)	1850	2500
Самолет АН-225 «Мрия» (1 двигатель)	52 000	70 000
Ракета-носитель «Протон»	$\approx 4{,}4 \cdot 10^7$	$\approx 5{,}9 \cdot 10^7$
Ракета-носитель «Энергия»	$\approx 1{,}25 \cdot 10^8$	$\approx 1{,}7 \cdot 10^8$

2 Учимся решать задачи

Задача 1. Человек равномерно поднимает ведро с водой на высоту 20 м за 20 с. Какую мощность он развивает, если масса ведра с водой 10 кг?

* Внесистемная единица мощности, используемая в технике,— *лошадиная сила*: 1 л. с. ≈ 735,5 Вт.

Дано:
$h = 20$ м
$t = 20$ с
$m = 10$ кг
$g = 10 \frac{Н}{кг}$

N — ?

Анализ физической проблемы

Чтобы вычислить мощность, нужно найти работу, которую выполнил человек, поднимая ведро на определенную высоту. Для этого следует вычислить силу, с которой человек действует на ведро. На ведро действуют две силы: сила тяжести $F_{тяж}$ и сила F, с которой на ведро действует человек. Ведро движется равномерно, поэтому эти силы скомпенсированы, то есть $F_{тяж} = F$.

Поиск математической модели, решение

По определению мощности $N = \frac{A}{t}$ (1); работа, выполненная человеком, $A = Fl$. Поскольку $F = F_{тяж} = mg$, а $l = h$, то $A = mgh$ (2). Подставив формулу (2) в формулу (1), получим: $N = \frac{mgh}{t}$.

Определим значение искомой величины:

$$[N] = \frac{кг \cdot \frac{Н}{кг} \cdot м}{с} = \frac{Н \cdot м}{с} = \frac{Дж}{с} = Вт;$$

$$\{N\} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 20}{20} = 100; \quad N = 100 \text{ Вт}.$$

Ответ: человек развивает мощность 100 Вт.

Задача 2. Трактор тянет плуг с постоянной скоростью 5,4 км/ч, прикладывая силу 50 кН. Какую мощность развивает двигатель трактора?

Дано:
$v = 5{,}4 \frac{км}{ч} = 1{,}5 \frac{м}{с}$
$F = 50$ кН $= 5 \cdot 10^4$ Н

N — ?

Анализ физической проблемы

Для вычисления мощности, которую развивает двигатель трактора, нужно работу, выполняемую трактором за определенное время, разделить на это время. В свою очередь, работа определяется силой, которую трактор прикладывает к плугу, и путем, пройденным трактором за определенное время.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

По определению мощность $N = \frac{A}{t}$. В свою очередь, $A = Fl$. Поскольку движение трактора равномерно, то $l = vt$.

Тогда $N = \frac{Fl}{t} = \frac{Fvt}{t} = Fv$.*

Определим значение искомой величины:

$$[N] = Н \cdot \frac{м}{с} = \frac{Н \cdot м}{с} = \frac{Дж}{с} = Вт;$$

* Обратите внимание: мощность можно вычислить не только по формуле $N = \frac{A}{t}$, но и по формуле $N = Fv$.

$$\{N\} = 5 \cdot 10^4 \cdot 1{,}5 = 7{,}5 \cdot 10^4;\ N = 7{,}5 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 75 \text{ кВт}.$$

Проанализируем результат: мощность тракторов, указанная в таблице (см. с. 141), составляет 45–260 кВт, то есть полученный результат правдоподобен.

Ответ: двигатель трактора развивает мощность 75 кВт.

Подводим итоги

Мощность — это физическая величина, характеризующая скорость выполнения работы и численно равная отношению выполненной работы ко времени, за которое эта работа выполнена: $N = A/t$.

Единица мощности в СИ — ватт (Вт); 1 Вт = 1 Дж/1 с.

Мощность также можно вычислить по формуле $N = Fv$.

Контрольные вопросы

1. Для характеристики чего используют мощность? 2. Дайте определение мощности. 3. Назовите единицу мощности в СИ. 4. Что такое ватт? 5. Как вычислить мощность, которую развивает тело, если известны сила, действующая на тело, и скорость его движения?

Упражнение № 27

1. Первоклассник и одиннадцатиклассник за одинаковое время поднялись по ступенькам с первого этажа на второй. Кто из них развил во время движения бо́льшую мощность?
2. Двигаясь с некоторой скоростью по горизонтальному участку дороги, автомобиль подъехал к подъему. Изменится ли скорость движения автомобиля во время подъема, если мощность, которую развивает его двигатель, не изменится?
3. Горизонтальные участки дороги чередуются с подъемами и спусками. Как должна изменяться мощность двигателя автомобиля на этих участках, если он движется с постоянной скоростью?
4. Мальчик, поднимаясь по ступенькам, развил мощность 160 Вт. Какую работу выполнил мальчик за 20 с?
5. За какое время двигатель автомобиля, развивая мощность 150 кВт, выполнит работу 900 кДж?
6. Мощность двигателей самолета 10 МВт. Определите силу сопротивления движению, если самолет движется с постоянной скоростью 720 км/ч.

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Первый набор студентов **Днепропетровский национальный университет** провел в 1918 г. Тогда в нем обучалось 2750 человек. Первым ректором университета был известный ученый-биолог В. П. Карпов. За время своего существования учреждение подготовило более 70 тыс. специалистов.

Превращение учебного заведения в один из ведущих вузов Украины связано с именем другого ученого — академика В. И. Моссаковского, который был ректором университета в 1964–1986 гг. С 1951 г. Днепропетровский университет начал подготовку специалистов в области ракетостроения, затем появились новые научные школы в области математики, механики, физики, радиоэлектроники. Благодаря общегосударственному и международному признанию Днепропетровскому университету был присвоен статус национального.

§ 28. ЭНЕРГИЯ. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ТЕЛА

?! Слово «энергия» мы слышим очень часто. Им можно воспользоваться для характеристики людей (энергичный человек), природных явлений (энергия землетрясения или урагана), машин и механизмов (электроэнергия, потребляемая бытовыми приборами) и т. д. А что же такое энергия с точки зрения физики?

1 Вспоминаем, что такое энергия и как она связана с механической работой

В 7 классе вы уже познакомились с понятием энергии, узнали, что энергия характеризует способность тела выполнять работу. Сосулька, свисающая с крыши, автомобиль, мчащийся по дороге, натянутая тетива лука — все это примеры тел, способных выполнить работу.

Чтобы подробнее выяснить значение термина «энергия» и связь энергии с механической работой, рассмотрим примеры. На рис. 28.1 мальчик на некоторой высоте держит камень. Камень не движется и потому механической работы не выполняет. Но если камень отпустить, он упадет и расколет орех. При этом высота, на которой находится камень, уменьшится. На рис. 28.2 крепкая веревка удерживает согнутую (деформированную) балку катапульты. Балка работы не выполняет, но может выполнить, если отпустить веревку: распрямляясь, балка придаст скорость метательному снаряду. При этом деформация балки уменьшится.

Многим из вас, наверное, приходилось видеть, как играют в боулинг. Игрок с силой запускает шар по горизонтальной гладкой дорожке. Сначала шар движется практически по инерции и работы не выполняет, но потом, разбрасывая кегли, шар выполняет определенную работу (рис. 28.3). При этом скорость движения шара уменьшается.

Рис. 28.1. Мальчик держит камень на определенной высоте *(а)*. Камень обладает энергией, то есть может выполнить механическую работу, например расколоть орех *(б)*

Рис. 28.2. Деформированная балка катапульты обладает энергией: если веревку отпустить, балка распрямится и придаст скорость метательному снаряду, то есть выполнит работу (рисунок Леонардо да Винчи)

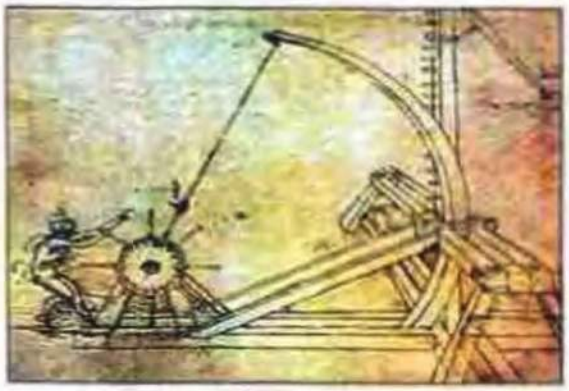


Рис. 28.3. Шар, движущийся по гладкому полу, обладает энергией, поскольку может выполнить работу — сбить кегли

Если тело или система тел могут выполнить механическую работу, то говорят, что они **обладают энергией.**

Энергия обозначается символом W. *Единица энергии в СИ (как и работы)* — **джоуль** (Дж).

Чем бо́льшую работу может выполнить тело, тем большей энергией оно обладает.

Во время выполнения механической работы энергия тела изменяется. Следовательно, *механическая работа является мерой изменения энергии тела.*

Например, когда грузчик поднимает кирпичи, энергия кирпичей увеличивается на значение выполненной грузчиком работы (рис. 28.4).

Рис. 28.4. Поднимая кирпичи, грузчик выполняет механическую работу, равную изменению энергии кирпичей

2 Узнаем о потенциальной энергии тела, поднятого над поверхностью Земли

Из-за притяжения к Земле любое тело, поднятое над ее поверхностью, обладает определенной энергией, то есть сможет совершить работу. Эту энергию называют *потенциальной* (от латин. *potentia* — сила, возможность).

Потенциальная энергия $W_п$ — это энергия, которой обладает тело вследствие взаимодействия с другими телами или вследствие взаимодействия частей этого тела друг с другом.

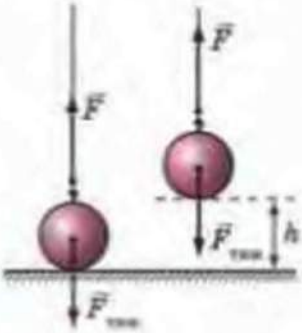


Рис. 28.5. При равномерном поднятии тела к нему необходимо прикладывать силу, равную силе тяжести ($F = F_{тяж}$) и направленную вверх

Попробуем выяснить связь между изменением потенциальной энергии тела, которое притягивается к Земле, и механической работой. Чтобы равномерно поднять камень массой m на высоту h над поверхностью Земли, нужно выполнить работу $A = Fl$. Поскольку $F = F_{тяж} = mg$, а $l = h$, то для работы по подъему камня получим $A = mgh$ (рис. 28.5).

Вы уже знаете, что механическая работа — это мера изменения энергии тела. Если условно считать значение потенциальной энергии камня, лежащего на поверхности Земли, равным нулю, то на высоте h его потенциальная энергия будет больше нуля на величину mgh, следовательно, $W_п = mgh$.

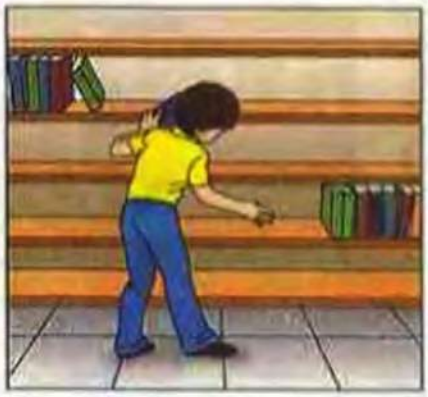


Рис. 28.6. Потенциальная энергия книги, расположенной на четвертой полке, относительно пола больше, чем относительно второй полки

Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли,— это произведение массы m тела на ускорение свободного падения g и высоту h, на которой находится тело:

$$W_п = mgh$$

Потенциальная энергия тела массой m зависит от высоты, на которой оно находится,— следовательно, на значение потенциальной энергии существенно влияет выбор *нулевого уровня* (уровня, от которого будет измеряться высота). Так, потенциальная энергия книги, лежащей на четвертой полке, относительно пола комнаты будет больше, чем потенциальная энергия той же книги относительно второй полки (рис. 28.6).

Рис. 28.7. Чем больше оттянута тетива лука, тем большей будет его потенциальная энергия

3 Знакомимся с потенциальной энергией упруго деформированных тел

В упруго деформированном теле его части взаимодействуют силами упругости. Если лишить такое тело внешнего воздействия, то силы упругости приведут в движение части тела и заставят его вернуться в исходное, недеформированное, состояние, то есть эти силы выполнят механическую работу. Следовательно, упруго деформированное тело обладает потенциальной энергией.

Например, чем больше сила упругости, возникающая при оттягивании тетивы лука, и чем больше эта тетива оттянута, тем большей потенциальной энергией обладает лук и тем бóльшую работу он может выполнить — придать стреле бóльшую скорость движения (рис. 28.7).

Потенциальная энергия деформированной пружины используется для выполнения работы в большинстве механических часов,

Рис. 28.8. Свойство деформированной пружины «запасать» потенциальную энергию, а потом за счет нее выполнять механическую работу используется во многих механизмах: механических часах *(а)*; дверных замках *(б)*; клапанах автомобильных двигателей *(в)*; амортизаторах автомобилей *(г)* и т. д.

в автоматических клапанах, для автоматического закрывания дверей и т. п. (рис. 28.8).

Подводим итоги

Если тело (или система тел) может выполнить механическую работу, то говорят, что оно (или она) обладает энергией. Механическая работа является мерой изменения энергии тела.

Энергия обозначается символом W. Единица энергии СИ — джоуль (Дж).

Энергию, обусловленную взаимодействием тел или частей одного тела, называют потенциальной энергией. Потенциальной энергией обладают тела, поднятые над поверхностью Земли, и упруго деформированные тела.

Потенциальную энергию поднятого над поверхностью Земли тела можно вычислить по формуле $W_п = mgh$, где m — масса тела; g — ускорение свободного падения; h — высота относительно нулевого уровня.

Контрольные вопросы

1. Что означает выражение «тело (или система тел) обладает энергией»? 2. Назовите единицу энергии в СИ. 3. Приведите примеры в подтверждение того, что при выполнении работы энергия изменяется. 4. Что такое потенциальная энергия? 5. Как можно вычислить потенциальную энергию тела, поднятого на высоту h над поверхностью Земли? 6. Какие тела, кроме тех, которые подняты над поверхностью Земли, обладают потенциальной энергией?

Упражнение № 28

1. Приведите примеры тел, обладающих потенциальной энергией.
2. Опишите, как изменяется потенциальная энергия самолета во время взлета и посадки.
3. Вычислите потенциальную энергию портфеля, лежащего на парте, относительно пола. Масса портфеля 3 кг. Высота парты 80 см.
4. Из колодца глубиной 12 м человек вытащил ведро воды массой 10 кг и поставил его на скамейку. Сравните потенциальную энергию ведра до и после подъема. Увеличилась она или уменьшилась? на сколько?

§ 29. КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ТЕЛА. ПОЛНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

?! Из теленовостей вам, наверное, известны последствия таких стихийных бедствий, как шторм и ураган. Так, ураганный ветер ломает опоры линий электропередач, вырывает с корнем деревья, разрушает здания. А известно ли вам, за счет какой энергии это происходит?

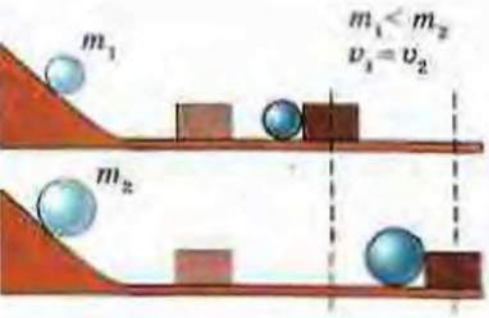


Рис. 29.1. Чем больше масса шара, тем бóльшую работу он выполнит

1 Знакомимся с кинетической энергией тела

Вспомним пример с боулингом: шар катится, разбрасывает в разные стороны кегли и уменьшает скорость своего движения. Шар выполнил механическую работу и уменьшил свою энергию. Однако потенциальная энергия шара до и после столкновения с кеглями остается неизменной, ведь шар все время находился на одной и той же высоте — изменялась только скорость его движения. Следовательно, энергия шара была связана с его движением. В физике эту энергию называют *кинетической* (от греч. *kinēma* — движение).

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

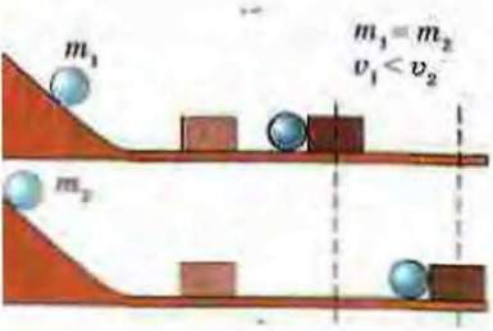


Рис. 29.2. Чем больше скорость шара, тем бóльшую работу он выполнит

Кинетическая энергия тела зависит от его массы и скорости движения. Так, из двух шаров, движущихся с одинаковой скоростью, шар большей массы оттолкнет один и тот же брусок на большее расстояние (рис. 29.1). То есть при одинаковой скорости движения больший по массе шар выполнит бóльшую работу.

Если два одинаковых шара начинают движение с разной высоты, то шар, который катится с большей высоты, приобретает бóльшую скорость движения. Он оттолкнет тот же брусок на большее расстояние, то есть выполнит бóльшую работу (рис. 29.2).

В физике доказано: *кинетическая энергия тела — это половина произведения массы тела на квадрат скорости его движения:*

$$W_к = \frac{mv^2}{2},$$

где m — масса тела; v — скорость движения тела.

Рис. 29.3. Относительно туриста камень не обладает кинетической энергией, а относительно велосипедиста, стремительно приближающегося к камню,— обладает

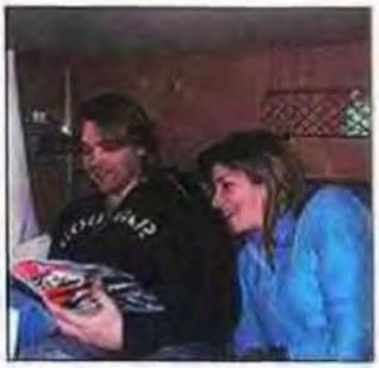


Рис. 29.4. Относительно пассажира движущегося поезда кинетическая энергия книги равна нулю. Но для человека на платформе книга обладает определенной кинетической энергией

Кинетическая энергия одного тела для разных наблюдателей может быть разной, поскольку относительно разных наблюдателей скорость движения тела может быть неодинаковой (рис. 29.3, 29.4).

2 Приводим определение полной механической энергии тела

Часто тело обладает и потенциальной энергией, и кинетической. Так, летящий самолет обладает и потенциальной энергией (поскольку взаимодействует с Землей), и кинетической энергией (поскольку движется).

Сумму потенциальной и кинетической энергий тела называют **полной механической энергией тела**.

! Подводим итоги

Энергию, которой обладают тела вследствие своего движения, называют кинетической энергией $W_к$ тела. Ее вычисляют по формуле $W_к = \frac{mv^2}{2}$, где m — масса тела; v — скорость его движения.

Сумму потенциальной и кинетической энергий тела называют полной механической энергией тела.

? Контрольные вопросы

1. Что называют кинетической энергией тела? 2. По какой формуле можно рассчитать кинетическую энергию тела? 3. Почему кинетическая энергия одного тела может быть разной для разных наблюдателей? 4. Что называют полной механической энергией тела?

Упражнение № 29

1. Велосипедист массой 50 кг движется со скоростью 36 км/ч. Вычислите кинетическую энергию велосипедиста.
2. Автомобиль разгонялся на горизонтальном участке дороги длиной 400 м под действием силы 10 кН. Увеличилась или уменьшилась кинетическая энергия автомобиля? на сколько?
3. Во время игры в баскетбол мяч массой 400 г брошен в направлении кольца. Вычислите полную механическую энергию мяча на высоте 3 м, если на этой высоте он двигался со скоростью 10 м/с. За нулевой уровень потенциальной энергии примите уровень пола спортзала.

§ 30. ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

?! Наверное, многие из вас «стреляли» из трубочки, выдувая из нее с определенной скоростью маленькие шарики. Вспомните: шарики взлетают вверх, а затем падают. Хорошо видно, что, когда шарики летят вверх, скорость их движения уменьшается,— ведь чтобы упасть, они должны сначала остановиться, а уже потом начать движение вниз. Кинетическая энергия шариков при их движении вверх тоже уменьшается. Бесследно ли она исчезает?

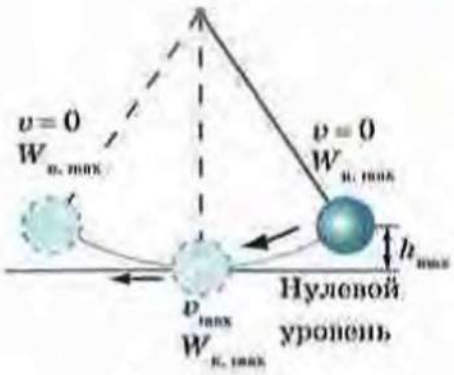


Рис. 30.1. При колебании нитяного маятника происходит постоянное превращение потенциальной энергии шарика в его кинетическую энергию и наоборот

1 Наблюдаем превращение потенциальной энергии в кинетическую и наоборот

Рассмотрим свободные колебания маятника. За нулевой уровень примем самое низкое положение шарика (положение равновесия) (рис 30.1).

В крайнем правом положении шарик находится на высоте h_{max} относительно нулевого уровня, следовательно, имеет наибольшую потенциальную энергию ($W_{п.max} = mgh_{max}$). В этом положении шарик не движется, поэтому его кинетическая энергия равна нулю. Когда шарик *начинает движение вниз, его скорость постепенно* увеличивается, соответственно возрастает и кинетическая энергия.

Когда шарик оказывается в самой нижней точке своей траектории, его потенциальная энергия уменьшается до нуля. В этот момент скорость движения шарика и соответственно его кинетическая энергия наибольшие ($W_{к.max} = \frac{mv_{max}^2}{2}$).

За счет запаса кинетической энергии шарик продолжает двигаться влево, поднимаясь все выше, вследствие чего возрастает его потенциальная энергия. Вместе с тем скорость движения шарика уменьшается, соответственно уменьшается его кинетическая энергия. Таким образом, один вид энергии переходит в другой: кинетическая энергия превращается в потенциальную, и наоборот.

Рис. 30.2. До тех пор пока струна будет колебаться, будет продолжаться взаимное превращение потенциальной и кинетической энергий

Такие же превращения механической энергии наблюдаются во время колебаний натянутой струны (рис. 30.2). Оттянем струну в сторону — в этот момент она обладает только потенциальной энергией: струна деформирована, но не движется. Если отпустить струну, она

придет в движение и ее кинетическая энергия начнет возрастать. При этом деформация струны уменьшается и соответственно уменьшается ее потенциальная энергия. Наибольшее значение кинетическая энергия приобретает в момент, когда струна проходит положение равновесия,— ее скорость максимальна, а деформация отсутствует. Далее струна продолжает движение, ее кинетическая энергия уменьшается, а потенциальная — увеличивается.

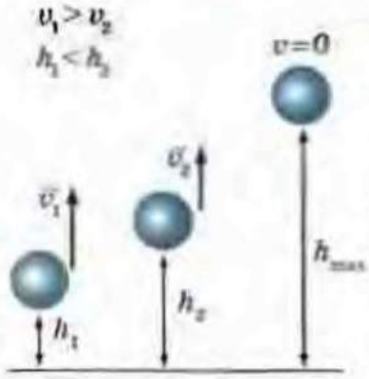


Рис. 30.3. При движении шарика вверх его потенциальная энергия увеличивается, а кинетическая — уменьшается

2 Открываем закон сохранения механической энергии

Приведем еще один пример — движение металлического шарика, брошенного вверх. Высота шарика относительно поверхности Земли увеличивается, поэтому возрастает его потенциальная энергия. Скорость движения шарика уменьшается, соответственно уменьшается его кинетическая энергия (рис. 30.3). Опыты доказывают, что при *отсутствии силы сопротивления воздуха кинетическая энергия шарика уменьшается на столько, на сколько увеличивается его потенциальная энергия, и наоборот*, то есть *полная механическая энергия не изменяется*. То же можно сказать в отношении колеблющихся маятника или струны: при отсутствии сил трения их полная механическая энергия остается неизменной.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать **закон сохранения механической энергии:**

В системе тел, взаимодействующих только друг с другом и только силами упругости и силами тяжести, полная механическая энергия не изменяется.

Еще раз подчеркнем: закон сохранения механической энергии выполняется лишь тогда, когда нет потерь механической энергии, в частности при отсутствии силы трения. Если трение учитывать, то *полная механическая энергия со временем уменьшается*. Происходит превращение механической энергии в другие виды энергии. Примером может быть нагревание тел в результате трения: механическая энергия превращается в тепловую.

3 Учимся решать задачи

Задача 1. Тело массой 1 кг без начальной скорости падает на поверхность Земли с высоты 20 м. На какой высоте кинетическая энергия тела будет 100 Дж? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:
$m = 1$ кг
$v_0 = 0$
$h_0 = 20$ м
$W_к = 100$ Дж
$g = 10 \frac{Н}{кг}$

h — ?

Анализ физической проблемы

Сопротивление воздуха отсутствует, значит, выполняется закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия тела не изменяется. За нулевой уровень примем поверхность Земли (см. рис. 30.4).

Рис. 30.4

Поиск математической модели, решение

На высоте h_0 полная механическая энергия тела: $W_{п.0} + W_{к.0}$, на искомой высоте h: $W_п + W_к$. По закону сохранения механической энергии: $W_{п.0} + W_{к.0} = W_п + W_к$.

На высоте h_0 (перед началом падения): $W_{п.0} = mgh_0$; $W_{к.0} = 0$ (так как $v_0 = 0$). На высоте h (во время падения): $W_п = mgh$; $W_к \neq 0$ (так как тело движется). Тогда $mgh_0 + 0 = mgh + W_к$. Отсюда $mgh = mgh_0 - W_к \Rightarrow h = h_0 - \frac{W_к}{mg}$.

Определим значение искомой величины:

$$[h] = м - \frac{Дж}{кг \cdot \frac{Н}{кг}} = м - \frac{Дж}{Н} = м - \frac{Н \cdot м}{Н} = м;$$

$$\{h\} = 20 - \frac{100}{10} = 20 - 10 = 10; \ h = 10 \text{ м}.$$

Ответ: кинетическая энергия тела будет равна 100 Дж на высоте 10 м.

Задача 2. Тело бросают вертикально вверх со скоростью 20 м/с. На какой высоте потенциальная энергия тела будет равна его кинетической энергии? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:
$v_0 = 20 \frac{м}{с}$
$W_п = W_к$
$g = 10 \frac{Н}{кг} = 10 \frac{м}{с^2}$ *
$h_0 = 0$

h — ?

Анализ физической проблемы

Поскольку сопротивление воздуха отсутствует, то выполняется закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия тела не изменяется. За нулевой уровень потенциальной энергии примем уровень, с которого бросают тело.

Поиск математической модели, решение

По закону сохранения механической энергии:

$$W_{к.0} + W_{п.0} = W_п + W_к.$$

* Поскольку $W_к = mv^2/2$, между единицами энергии существует соотношение: Дж = Н · м = кг · м²/с² ⇒ Н/кг = м/с². Подробнее вы узнаете об этом в 10 классе.

Поскольку $h_0=0$, то $W_{п.0}=0$. По условию $W_п=W_к$. Поэтому $W_{к.0}=W_к+W_п$, то есть $W_{к.0}=2W_п$. Учитывая, что потенциальная энергия тела на искомой высоте $W_п=mgh$, а начальная кинетическая энергия $W_{к.0}=\frac{mv_0^2}{2}$, получаем: $2mgh=\frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow h=\frac{v_0^2}{4g}$.

Определим значение искомой величины:

$$[h]=\frac{\frac{м^2}{с^2}}{\frac{м}{с^2}}=\frac{м^2}{с^2}\cdot\frac{с^2}{м}=м;\ \{h\}=\frac{20^2}{4\cdot 10}=\frac{400}{40}=10;\ h=10\ м.$$

Ответ: потенциальная энергия тела будет равна его кинетической энергии на высоте 10 м.

Подводим итоги

Потенциальная энергия тела (системы тел) может превращаться в кинетическую энергию, и наоборот.

Закон сохранения механической энергии: в системе тел, взаимодействующих только друг с другом и только силами упругости и силами тяжести, полная механическая энергия не изменяется. Она лишь превращается из кинетической энергии в потенциальную, и наоборот.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры превращения потенциальной энергии тела в кинетическую и наоборот. 2. Сформулируйте закон сохранения механической энергии. 3. При каких условиях выполняется закон сохранения механической энергии? 4. Приведите примеры, когда полная механическая энергия не сохраняется.

Упражнение № 30

В заданиях 3–5 сопротивление воздуха не учитывайте.

1. Пружинный пистолет заряжают шариком и стреляют вверх. Какие при этом происходят превращения энергии?
2. Шайба скатывается с ледяной горки на асфальт и останавливается. Выполняется ли в этом случае закон сохранения механической энергии?
3. Начальная потенциальная энергия тела, находящегося в покое на определенной высоте, равна 400 Дж. Затем тело падает. Какой будет кинетическая энергия тела в момент, когда его потенциальная энергия будет 150 Дж?
4. Тело бросают вверх, сообщая ему кинетическую энергию 300 Дж. На определенной высоте его кинетическая энергия уменьшится до 120 Дж. Какой будет потенциальная энергия тела на этой высоте?
5. Тело, находившееся в состоянии покоя, падает с высоты 20 м. На какой высоте скорость его движения будет равна 10 м/с?

Экспериментальное задание

Подбросьте вверх небольшое тело,— например, спичечный коробок. Измерьте или оцените на глаз высоту, на которую он поднялся. Определите начальную скорость коробка. Сопротивление воздуха не учитывайте.

§ 31. ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

?! Древние греки не только научились пользоваться такими простыми механизмами, как рычаг, блок и т. п., но и выяснили, почему эти устройства позволяют получить выигрыш в силе. Вместе с тем простые механизмы дают проигрыш в расстоянии. А дают ли они выигрыш в работе? Почему и сегодня усовершенствованные «потомки» древних простых механизмов встречаются на заводах, строительных площадках, в транспортных средствах и бытовых приборах?

1 Вспоминаем о рычаге и блоке

Вы уже знаете, что еще в древности для облегчения работы человек использовал различные простые механизмы. Так, в Древнем Египте при строительстве пирамид и храмов использовали рычаг. Свойство рычага давать выигрыш в силе следует из условия его равновесия.

Вспомните, что блоки можно рассматривать как рычаги — равноплечие (неподвижный блок); такие, у которых плечи отличаются в 2 раза (подвижный блок). Разновидностью рычага также является *ворот*, который используется, например, в системе рулевого управления автомобилем (рис. 31.1).

2 Открываем «золотое правило» механики

Рычаги с разными плечами, подвижные блоки и вороты позволяют получить выигрыш в силе. Но «даром» ли дается такой выигрыш? Оказывается, что при использовании рычага его более длинный конец проходит больший путь (рис. 31.2): тяжелое тело поднимется на небольшую высоту (h_2), а конец длинного плеча рычага, к которому приложена меньшая сила, опустится на значительно большую высоту (h_1). Таким образом, получив выигрыш в силе, мы проиграем в расстоянии. Тот же результат получаем при использовании подвижного блока (рис. 31.3) и ворота.

Рис. 31.1. Выигрыш в силе F_2/F_1, который дает руль, равен отношению радиуса R руля к радиусу r шестерни, поворачивающей колеса автомобиля

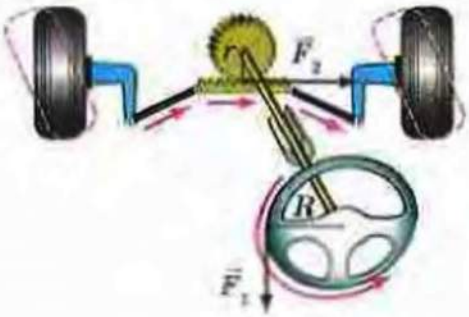


Рис. 31.2. Во сколько раз плечо l_1 рычага длиннее плеча l_2, во столько раз высота h_1 больше высоты h_2

Классические расчеты рычагов и блоков принадлежат *Архимеду*. Он сформулировал правило, применяемое не только к рычагу, но и ко всем простым механизмам. Это правило называют **«золотое правило» механики:**

Во сколько раз простой механизм дает выигрыш в силе, во столько же раз он дает проигрыш в расстоянии.

Отметим, что «золотое правило» выполняется при *идеальных условиях*, когда подвижные части простых механизмов не имеют веса, а между телами, которые скользят или катятся друг по другу, отсутствует трение.

Из закона сохранения механической энергии следует, *что простые механизмы не дают выигрыша в работе*. Действительно, согласно «золотому правилу» механики $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$. То есть $F_1 l_1 = F_2 l_2 \Rightarrow A_1 = A_2$.

Рис. 31.3. Если веревку поднять на высоту 2*h*, то подвижный блок с грузом поднимется на высоту *h*

3 Исследуем наклонную плоскость

Кроме рычага и блока, люди с античных времен используют еще один простой механизм — *наклонную плоскость* (рис. 31.4). С ее помощью можно поднимать тяжелые предметы, прикладывая к ним относительно небольшую силу.

Рис. 31.4. Наклонная плоскость незаменима, когда нужно поднять груз. Чем более пологий наклон имеет плоскость, тем легче выполнить эту работу

Докажем условие равновесия сил на наклонной плоскости на опыте. Допустим, по наклонной плоскости длиной l нужно втащить тело на высоту h. Для уменьшения силы трения лучше воспользоваться катком (рис. 31.5). Чтобы поднять каток, нужно прикладывать к нему силу, значение которой равно значению силы тяжести $F_{тяж}$, а чтобы втаскивать его по наклонной плоскости — силу F. При подъеме катка на высоту h выполняется работа $A_1 = F_{тяж} h$. При втаскивании катка по наклонной плоскости на расстояние l выполняется работа $A_2 = Fl$. При отсутствии трения $A_1 = A_2$, то есть $F_{тяж} h = Fl \Rightarrow \frac{F_{тяж}}{F} = \frac{l}{h}$.

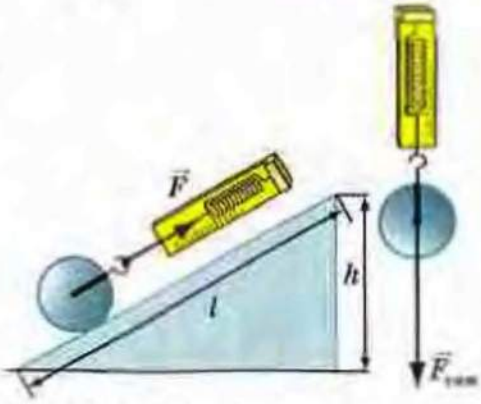


Рис. 31.5. Чтобы тянуть тело вверх по наклонной плоскости, нужна значительно меньшая сила, чем для подъема этого тела по вертикали

Для наклонной плоскости «золотое правило» механики выполняется, если между телом,

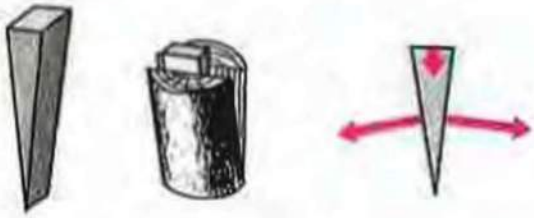


Рис. 31.6. Клин не только дает выигрыш в силе, но и изменяет ее направление

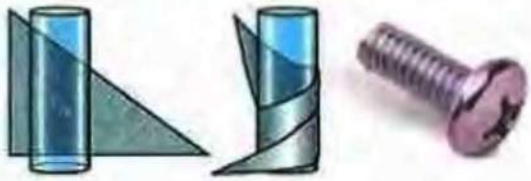


Рис. 31.7. Разновидностью наклонной плоскости является винт

которое втаскивают по наклонной плоскости, и поверхностью плоскости отсутствует трение.

4 Знакомимся с разновидностями наклонной плоскости

Свойства наклонной плоскости используются, например, в эскалаторах, обычных ступеньках, конвейерах. Одна из разновидностей наклонной плоскости — *клин*. Чтобы облегчить рубку дров, в трещину бревна вставляют клин и бьют по нему обухом топора. Во время удара на клин действуют три тела: сверху — обух, по бокам — две части бревна. Соответственно клин действует на обух топора вверх, а на древесину бревна — в стороны, то есть раздвигает половинки бревна. Таким образом, клин изменяет направление силы удара топора. Кроме того, сила, с которой он раздвигает половинки бревна в разные стороны, намного больше силы, с которой топор ударяет по клину (рис. 31.6).

Еще одна разновидность наклонной плоскости — *винт*. Возьмем треугольник, вырезанный из картона, и расположим его рядом с цилиндром. Наклонной плоскостью будет служить ребро картона. Обернув треугольник вокруг цилиндра, мы получим винтовую наклонную плоскость (рис. 31.7). Нарезка винта — это наклонная плоскость, многократно обернутая вокруг цилиндра. Подобно клину винт может изменять направление и числовое значение приложенной силы.

Принцип действия винта используют во многих механизмах и устройствах: механических домкратах и подъемниках, в мясорубках, тисках, струбцинах, сверлах, шурупах, резьбовых креплениях и т. п.

5 Доказываем «золотое правило» механики для гидравлического пресса

При сжимании жидкость практически не изменяет своего объема, поэтому, опускаясь, малый поршень гидравлического пресса вытесняет из малого цилиндра такой же объем жидкости, какой попадает в большой цилиндр: $V_1 = V_2$. Поскольку $V_1 = S_1 h_1$, а $V_2 = S_2 h_2$ (где S_1 и S_2 — площади малого и большого поршней соответственно; h_1 и h_2 — расстояния, на которые со-

ответственно перемещаются поршни), то $S_1h_1 = S_2h_2 \Rightarrow \frac{h_1}{h_2} = \frac{S_2}{S_1}$.

Из условия равновесия для гидравлического пресса $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$, где F_1 и F_2 — силы, действующие соответственно на малый и большой поршни (см. § 22), получаем $\frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2}$. То есть *во сколько раз гидравлический пресс увеличивает силу на большом поршне, во столько же раз уменьшается расстояние, на которое передвигается большой поршень*. Таким образом, получив выигрыш в силе, мы снова получаем такой же проигрыш в расстоянии (рис. 31.8).

Для гидравлического пресса «золотое правило» выполняется, если пренебречь массами поршней и силой сопротивления движению жидкости при ее перетекании из малого цилиндра в большой.

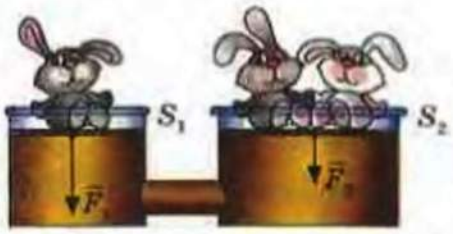


Рис. 31.8. Сила давления на поршень одного крольчонка вдвое меньше силы давления двух крольчат. Поэтому если одного крольчонка опустить на определенную высоту, то два крольчонка поднимутся на вдвое меньшую высоту

6 Находим простые механизмы в современных машинах

Простые механизмы — это труженики со стажем работы свыше 3000 лет, но они ничуть не «постарели»: в каждом современном техническом устройстве можно обязательно найти простой механизм, и не один.

Так, рычаги и вороты можно обнаружить в велосипедах и автомобилях; в конструкции подъемных кранов присутствуют рычаги, блоки, вороты. Рычаги и блоки — непременные составные части конструкций путе- и трубоукладчиков (рис. 31.9), подъемных кранов и других машин. Транспортеры, используемые в шахтах и на фабриках, являются примерами наклонной плоскости (рис. 31.10). Ворот и винт используются в механических домкратах.

Рис. 31.9. Блоки и рычаги легко угадываются в конструкции трубоукладчиков и других машин

Рис. 31.10. Конвейер является примером использования свойств наклонной плоскости

7 Подводим итоги

С древних времен человек использует простые механизмы: рычаг, блок, ворот, наклонную плоскость, клин, винт.

Для простых механизмов и гидравлического пресса выполняется «золотое правило» механики: во сколько раз простой механизм дает выигрыш в силе, во столько же раз он дает проигрыш в расстоянии. «Золотое правило» механики выполняется при идеальных условиях.

Простой механизм — непременная составная часть современных машин; их конструкция может иметь несколько простых механизмов.

Контрольные вопросы

1. Для чего используют простые механизмы? 2. Сформулируйте «золотое правило» механики для простого механизма. 3. Назовите разновидности наклонной плоскости. 4. Какой выигрыш в силе дает наклонная плоскость? 5. Сформулируйте «золотое правило» механики для гидравлического пресса. 6. Приведите примеры использования простых механизмов в современных машинах.

Упражнение № 31

Считайте, что во всех задачах выполняются идеальные условия.

1. Поднимая груз с помощью рычага, получили выигрыш в силе в 3 раза. При этом груз, привязанный к левому концу рычага, поднялся на высоту 20 см. На сколько опустился правый конец рычага?
2. С помощью подвижного блока человек поднимает ведро массой 20 кг. Вычислите силу, с которой человек действует на веревку.
3. С помощью рычага подняли груз массой 100 кг. На длинное плечо рычага действовала сила 250 Н, а точка приложения силы опустилась на 30 см. На какую высоту был поднят груз?
4. Вычислите, какую силу надо приложить, чтобы поднять по наклонной плоскости тележку массой 60 кг, если высота наклонной плоскости равна 80 см, а ее длина 3,2 м?
5. В результате сжатия детали гидравлическим прессом силой 10 кН большой поршень поднялся на 5 мм. Какая сила была приложена к малому поршню, если он опустился на 20 см?

Экспериментальное задание

Осмотрите бытовую мясорубку. Укажите все простые механизмы, входящие в ее состав.

§ 32. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЗМОВ

?! «Золотое правило» механики подсказывает, что выигрыш в силе, который дают простые механизмы, компенсируется проигрышем в расстоянии. Поэтому никакого выигрыша в работе с помощью простых механизмов мы не получаем. Более того, в реальных условиях оказывается, что мы проигрываем в работе — часть работы куда-то «исчезает». Попробуем выяснить, куда.

1 Знакомимся с важной характеристикой механизмов

Предположим, на определенную высоту нужно поднять груз. Перебросим через неподвижный блок веревку, привяжем к ней груз

и будем равномерно тянуть веревку вниз. Груз начнет подниматься. Поскольку неподвижный блок можно представить как равноплечий рычаг, то сила, с которой тянут веревку, равна весу груза: $F = P$. Однако на практике всегда есть сила трения, и поэтому, чтобы поднять груз, к свободному концу веревки надо приложить силу, которая больше веса груза: $F > P$ (рис. 32.1). При подъеме груза на нужную высоту h выполняется полезная работа $A_п = Ph$. При этом затраченная (полная) работа по вытягиванию веревки на длину h вычисляется по формуле: $A_з = Fh$. Из-за трения полная работа будет больше, чем полезная работа $(Fh > Ph)$.

Рис. 32.1. Если в неподвижном блоке есть трение, то сила F, с которой человек должен тянуть веревку, больше веса груза

На практике полезная работа, выполняемая с помощью любого механизма, всегда меньше полной работы: $A_п < A_з$. Только в идеальных случаях полезная работа была бы равна полной работе, но этого никогда не случается.

Отношение полезной работы к полной работе называют **коэффициентом полезного действия (КПД).**

КПД обозначают символом η («эта») и вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{A_п}{A_з}, \quad \text{или в процентах:} \quad \eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\,\%$$

КПД любого механизма демонстрирует, какую часть полной работы механизм превращает в полезную. Поскольку в ходе использования механизмов полезная работа всегда меньше полной, КПД любого механизма всегда меньше 100 %.

2 **Учимся решать задачи**

Задача. Тело массой 20 кг поднимают по наклонной плоскости. Какую силу нужно прикладывать в направлении движения тела, если длина наклонной плоскости 4 м, высота — 1 м, а КПД составляет 80 %?

Дано:
$m = 20$ кг
$l = 4$ м
$h = 1$ м
$\eta = 80\,\%$

F — ?

Анализ физической проблемы

При подъеме груза по наклонной плоскости сила, приложенная к грузу вдоль наклонной плоскости, выполняет полную работу. Полезная работа здесь — это изменение потенциальной энергии поднимаемого груза. Отношение полезной и полной работ — КПД наклонной плоскости.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

Воспользуемся определением КПД: $\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\,\%$. При этом $A_п = mgh$, $A_з = Fl$.

Отсюда $\eta = \frac{mgh}{Fl} \cdot 100\,\% \Rightarrow F = \frac{mgh}{\eta l} \cdot 100\,\%$.

Определим значение искомой величины:

$$[F] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\% \cdot \text{м}} \cdot \% = \text{Н};$$

$$\{F\} = \frac{20 \cdot 10 \cdot 1}{80 \cdot 4} \cdot 100 = 62{,}5; \quad F = 62{,}5 \text{ Н}.$$

Проанализируем результат: сила 62,5 Н меньше веса тела 200 Н, то есть наклонная плоскость дала выигрыш в силе 200/62,5 = 3,2. По условию проигрыш в расстоянии 4/1 = 4. Так как КПД плоскости меньше 100 %, то выигрыш в силе меньше проигрыша в расстоянии,— это правдоподобный результат.

Ответ: к телу нужно прикладывать силу 62,5 Н.

Подводим итоги

На практике полезная работа, которую выполняют с помощью любого механизма, всегда меньше полной (затраченной) работы: $A_п < A_з$.

Отношение полезной работы к полной работе называют коэффициентом полезного действия (КПД): $\eta = \frac{A_п}{A_з}$; $\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\,\%$.

КПД любого механизма всегда меньше 100 %.

Контрольные вопросы

1. Почему на практике полезная работа всегда меньше полной? 2. Дайте определение КПД. 3. Каково максимальное значение КПД любого механизма?

Упражнение № 32

1. С помощью простого механизма выполнена полезная работа 120 Дж. Найдите КПД механизма, если полная работа равна 150 Дж.
2. Тело поднимают по наклонной плоскости, выполняя полезную работу 180 кДж. Найдите полную работу, если КПД наклонной плоскости 90 %.
3. Груз массой 160 кг подняли с помощью рычага на 25 см, прикладывая к длинному плечу рычага силу 400 Н. Определите КПД рычага, если конец длинного плеча опустился на 1 м 25 см.
4. Тело поднимают по наклонной плоскости, прикладывая в направлении движения тела силу 50 Н. Определите массу тела, если длина наклонной плоскости 2 м, высота — 50 см, а КПД составляет 80 %.

5. Груз массой 9 кг поднимают с помощью устройства, состоящего из подвижного и неподвижного блоков (см. рисунок). Какую силу нужно прикладывать к веревке, переброшенной через неподвижный блок, если КПД устройства 90%?

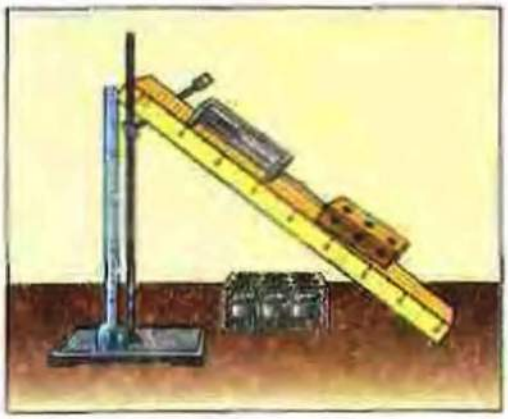
ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова со дня создания в 1865 г. занимает одно из ведущих мест в Украине. Наряду с Харьковским, Киевским и Львовским университетами он фактически определяет состояние и перспективы развития образования, науки и культуры страны.

Учебный процесс в университете обеспечивают 10 факультетов. Количество студентов — около 14 500 человек. В университете работают 125 докторов наук, профессоров, 576 кандидатов наук, доцентов.

Много ярких страниц вписали в историю Украины и университета всемирно известные ученые: микробиологи И. И. Мечников, Д. К. Заболотный, физики Ф. Н. Шведов, Н. А. Умов, физиолог И. Н. Сеченов и др.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10



Тема. Определение КПД наклонной плоскости.

Цель: убедиться на опыте, что полезная работа, выполненная с помощью наклонной плоскости, меньше полной; определить КПД наклонной плоскости.

Приборы и материалы: мерная лента, динамометр, набор грузов, деревянная линейка, штатив с муфтой и лапкой, деревянный брусок.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, вспомните ответы на следующие вопросы:
   1) Какие виды простых механизмов вы знаете?

2) Что называют коэффициентом полезного действия?
3) Почему КПД любого механизма всегда меньше 100 %?

2. Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.
3. Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке, приведенном в начале работы.

Эксперимент

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

1. Измерьте с помощью мерной ленты длину l и высоту h наклонной плоскости.
2. Определите с помощью динамометра вес P бруска.
3. Положите брусок на наклонную плоскость и с помощью динамометра равномерно передвигайте его вверх. Измерьте силу тяги F, действующую на брусок со стороны динамометра.
4. Не изменяя угла наклона плоскости, повторите опыт еще трижды, разместив на бруске сначала один, потом два, а потом три груза.

Обработка результатов эксперимента

1. Для каждого опыта вычислите:
   1) полную (затраченную) работу: $A_з = Fl$;
   2) полезную работу: $A_п = Ph$;
   3) выигрыш в силе, который дает наклонная плоскость: $\frac{P}{F}$;
   4) КПД наклонной плоскости: $\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\,\% = \frac{Ph}{Fl} \cdot 100\,\%$.
2. Результаты вычислений занесите в таблицу.

Номер опыта	Вес бруска и грузов P,	Высота наклонной плоскости h, м	Полезная работа $A_п$, Дж	Сила тяги F, Н	Длина наклонной плоскости l, м	Полная (затраченная) работа $A_з$, Дж	Выигрыш в силе $\frac{P}{F}$	КПД η, %

Анализ результатов эксперимента

Сравните показания динамометра со значениями веса бруска и сделайте вывод о выигрыше в силе, который дает наклонная плоскость; сравните полученные значения КПД и сделайте вывод, зависит ли КПД от веса тела, которое поднимают по наклонной плоскости.

Творческое задание

Выясните с помощью эксперимента, как зависит КПД наклонной плоскости от угла ее наклона. Почему, по вашему мнению, при изменении угла наклона плоскости изменяется ее КПД?

ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 3 «РАБОТА И ЭНЕРГИЯ»

1. В разделе 3 вы узнали, что такое механическая работа, энергия и мощность.

Механическая работа, Дж	Энергия, Дж	Мощность, Вт
$A = Fl$ 1 Дж = 1 Н·м • к телу приложена сила • под действием этой силы тело движется • направление движения тела и направление силы не являются перпендикулярными	W • характеризует способность тела (или системы тел) выполнять работу • во время изменения энергии выполняется работа • изменение энергии равно работе	$N = \frac{A}{t}$ $1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{\text{с}}$ • характеризует скорость выполнения работы

2. Вы научились различать кинетическую и потенциальную энергии, познакомились с законом сохранения механической энергии.

- Кинетическая энергия $W_к = \frac{mv^2}{2}$
- Потенциальная энергия $W_п = mgh$
- При условии отсутствия трения выполняется закон сохранения механической энергии: $W_{п.0} + W_{к.0} = W_п + W_к$

3. Вы ознакомились с простыми механизмами и выяснили, что ни один из них не дает выигрыша в работе; узнали о физической величине — коэффициенте полезного действия (КПД).

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\ \%$$

Простой механизм	Выигрыш в силе при идеальных условиях	Выигрыш в расстоянии	КПД при идеальных условиях, %	КПД в реальных условиях, %	Причины уменьшения КПД
Рычаг	$\frac{l_1}{l_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	100	< 100	Вес рычага, сила трения в оси вращения
Блок неподвижный	Не дает	Не дает	100	< 100	Сила трения в оси вращения
Блок подвижный	В 2 раза	В 0,5 раза	100	< 100	Вес блока, сила трения в оси вращения
Наклонная плоскость, клин, винт	$\frac{l}{h}$	$\frac{h}{l}$	100	< 100	Сила трения

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 3 «РАБОТА И ЭНЕРГИЯ»

Задания 1–11 содержат только один правильный ответ.

1. *(1 балл)* Механическая работа выполняется, если:
   а) сила перпендикулярна направлению движения тела;
   б) тело неподвижно;
   в) тело движется под действием силы;
   г) на тело не действуют силы.

2. *(1 балл)* Неподвижный блок:
   а) дает выигрыш в силе в 2 раза;
   б) не дает выигрыша в силе;
   в) дает выигрыш в работе;
   г) дает выигрыш в расстоянии.

3. *(1 балл)* Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли, зависит:
   а) от массы и скорости движения тела;
   б) от массы тела и его высоты над поверхностью Земли;
   в) от высоты тела над поверхностью Земли и скорости движения тела;
   г) только от скорости движения тела.

4. *(1 балл)* Кинетическая энергия движущегося тела зависит:
   а) от массы и скорости движения тела;
   б) только от высоты тела над поверхностью Земли;
   в) от высоты тела над поверхностью Земли и скорости его движения;
   г) только от скорости движения тела.

5. *(1 балл)* Если мощность механизма равна 100 Вт, то:
   а) за 100 с он выполнит работу 1 Дж;
   б) за 10 с он выполнит работу 10 Дж;
   в) за 1 с он выполнит работу 0,01 Дж;
   г) за 1 с он выполнит работу 100 Дж.

6. *(1 балл)* Если использование простого механизма дает выигрыш в силе в 6 раз, то при идеальных условиях он дает:
   а) проигрыш в расстоянии в 6 раз;
   в) проигрыш в расстоянии в 36 раз;
   б) выигрыш в расстоянии в 6 раз;
   г) выигрыш в расстоянии в 36 раз.

7. *(1 балл)* Подвижный блок:
   а) дает выигрыш в силе в 2 раза;
   б) не дает выигрыша в силе;
   в) дает выигрыш в работе;
   г) дает выигрыш в расстоянии.

8. *(2 балла)* Какую работу нужно выполнить, чтобы вытащить ведро с водой из колодца глубиной 12 м? Масса ведра с водой 8 кг. Считайте, что $g = 10\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.
   а) 1,5 Дж;
   б) 15 Дж;
   в) 96 Дж;
   г) 960 Дж.

9. *(2 балла)* Какова мощность двигателя, если за 4 мин он совершает работу 12 кДж?
а) 50 Вт; б) 500 Вт; в) 3 кВт; г) 12 кВт.

10. *(2 балла)* Кран поднял груз весом 24 кН, совершив при этом работу 360 кДж. На какую высоту был поднят груз?
а) 15 см; б) 1,5 м; в) 15 м; г) 21,6 м.

11. *(2 балла)* За какое время двигатель мощностью 100 Вт совершит работу 2 кДж?
а) 20 с; б) 200 с; в) 50 с; г) 0,05 с.

12. *(3 балла)* Кит, плавая под водой со скоростью 18 км/ч, развивает мощность 150 кВт. Определите силу сопротивления воды.

13. *(4 балла)* С помощью подъемника автомобиль массой 2 т подняли на высоту 2 м. Определите совершенную при этом работу, если КПД подъемника 80 %.

14. *(4 балла)* С помощью подвижного блока поднимают груз массой 40 кг; свободный конец шнура тянут с силой 300 Н. Определите КПД блока.

15. *(4 балла)* С помощью неподвижного блока поднимают груз, прикладывая силу 1,6 кН. Какова масса груза, если КПД блока 80 %?

16. *(4 балла)* Длинное плечо рычага в 3 раза больше короткого. Чтобы поднять груз массой 60 кг, подвешенный к короткому плечу рычага, к длинному плечу прикладывают силу 250 Н. Определите КПД рычага.

17. *(4 балла)* КПД наклонной плоскости высотой 30 см составляет 70 %. Чтобы поднять груз массой 14 кг, необходимо прикладывать силу 60 Н. Вычислите длину наклонной плоскости.

18. *(5 баллов)* Мяч массой 0,5 кг подбрасывают вертикально вверх с начальной скоростью v, равной 20 м/с. Найдите потенциальную и кинетическую энергии мяча в тот момент, когда его скорость уменьшится в 2 раза. Сопротивление воздуха не учитывайте.

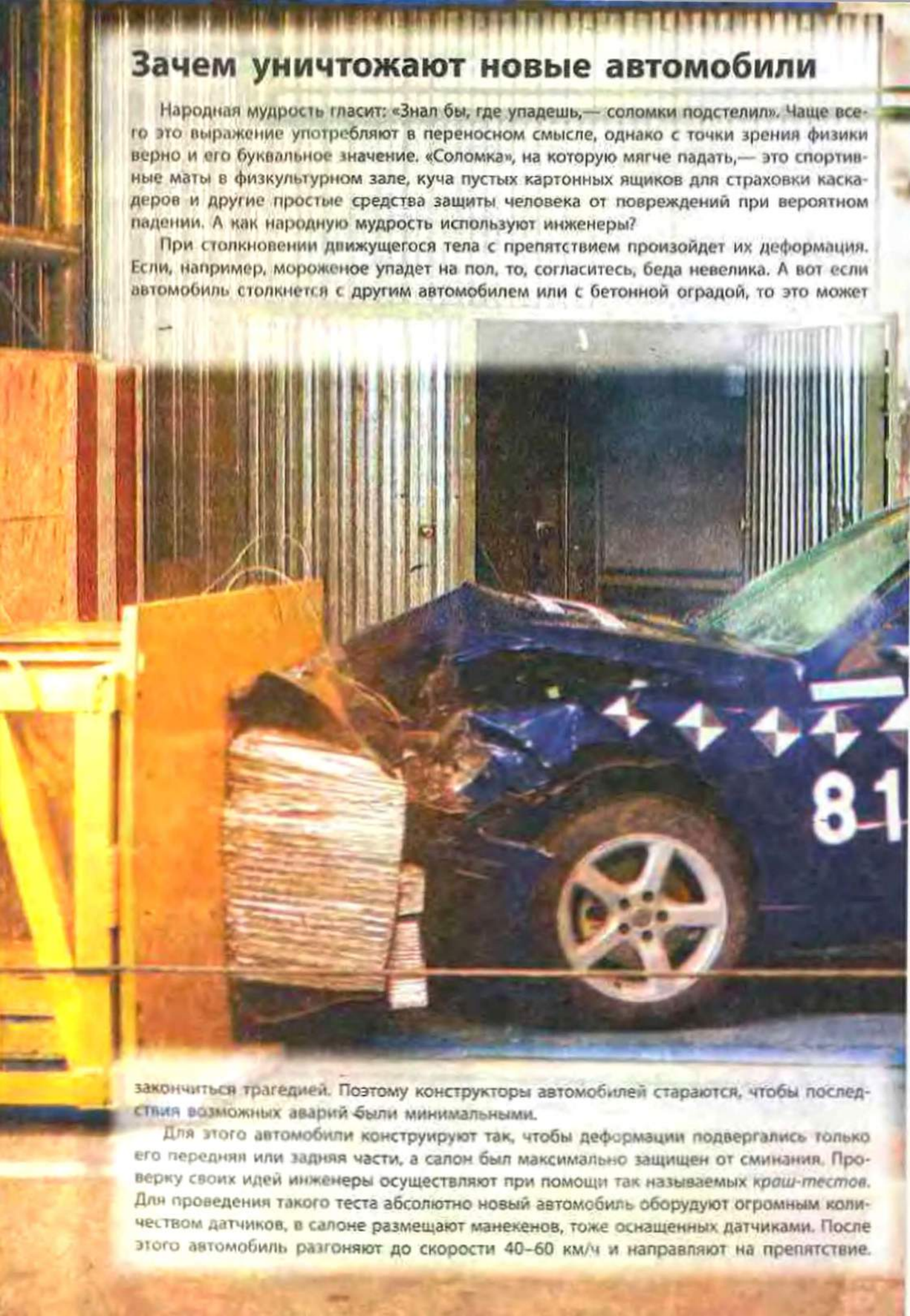
19. *(5 баллов)* Под действием определенной силы тело приобрело скорость движения 10 м/с и прошло расстояние 10 м. Вычислите значение этой силы. Силу трения не учитывайте.

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

Зачем уничтожают новые автомобили

Народная мудрость гласит: «Знал бы, где упадешь,— соломки подстелил». Чаще всего это выражение употребляют в переносном смысле, однако с точки зрения физики верно и его буквальное значение. «Соломка», на которую мягче падать,— это спортивные маты в физкультурном зале, куча пустых картонных ящиков для страховки каскадеров и другие простые средства защиты человека от повреждений при вероятном падении. А как народную мудрость используют инженеры?

При столкновении движущегося тела с препятствием произойдет их деформация. Если, например, мороженое упадет на пол, то, согласитесь, беда невелика. А вот если автомобиль столкнется с другим автомобилем или с бетонной оградой, то это может

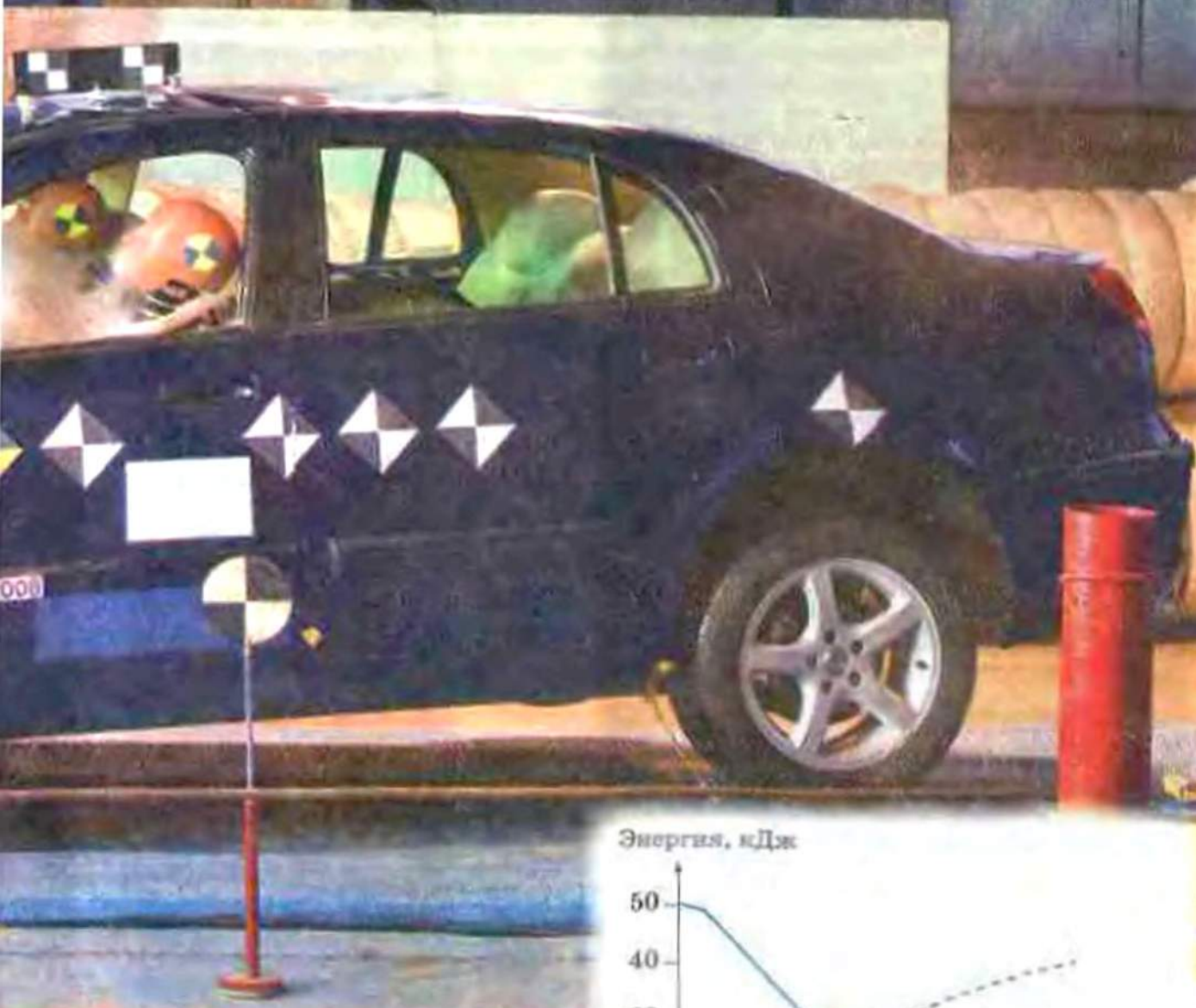


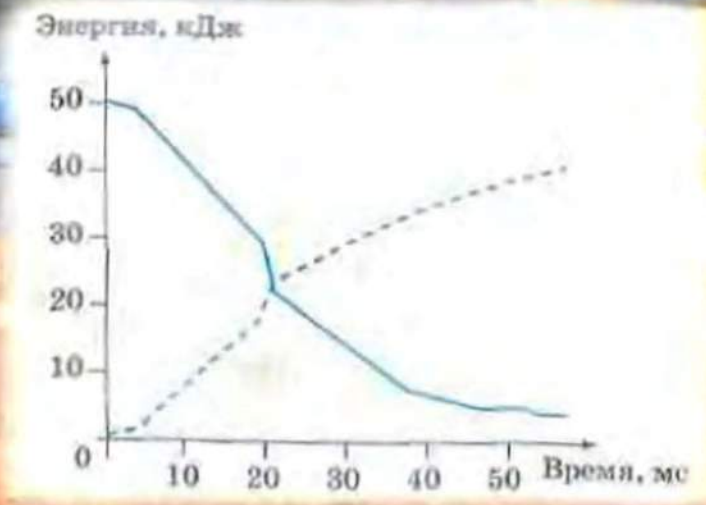
закончиться трагедией. Поэтому конструкторы автомобилей стараются, чтобы последствия возможных аварий были минимальными.

Для этого автомобили конструируют так, чтобы деформации подвергались только его передняя или задняя части, а салон был максимально защищен от сминания. Проверку своих идей инженеры осуществляют при помощи так называемых *краш-тестов*. Для проведения такого теста абсолютно новый автомобиль оборудуют огромным количеством датчиков, в салоне размещают манекенов, тоже оснащенных датчиками. После этого автомобиль разгоняют до скорости 40–60 км/ч и направляют на препятствие.

Уничтожать новенький автомобиль абсолютно не жаль, ведь данные, полученные в результате таких испытаний, позволяют сберечь десятки человеческих жизней. Объем данных, полученных благодаря краш-тестам, огромен (далее пойдет речь лишь о тех, которые непосредственно касаются исследуемой темы).

На схеме приведен график зависимости кинетической энергии и энергии деформации от времени после столкновения автомобиля со стеной. (Напомним: уменьшение одного вида и увеличение другого вида энергии было изучено в § 30 «Превращение механической энергии. Закон сохранения механической энергии».) Особо внимательные, наверное, заметят, что если сложить величины энергии деформации и кинетической энергии при скорости, скажем, 40 м/с, то сумма будет немного меньше, чем первоначальная кинетическая энергия. Это связано с тем, что исходная кинетическая энергия превратится в другие виды энергии, не показанные на графике.





Результаты краш-теста: зависимость кинетической энергии (сплошная линия) и энергии деформации (пунктирная линия) от времени испытаний. Ноль на графике означает удар автомобиля о препятствие

РАЗДЕЛ 4. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 33. ТЕМПЕРАТУРА И ЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ

?! Всем с детства привычны слова: горячее, теплое, холодное. «Осторожно, чашка горячая, обожжешься»,— предупреждали нас взрослые. Мы не понимали, что значит «горячая», притрагивались к чашке — и обжигались. «Снег холодный, не снимай перчаток, пальчики замерзнут»,— уговаривала бабушка. Нам очень хотелось узнать, а как это — «холодный», мы снимали перчатки и вскоре понимали значение этого слова. «Придется побыть в постели. Температура высокая»,— настаивал врач. А что же такое температура с точки зрения физики?

1 Знакомимся с понятием «температура»

Первые представления о температуре человек приобрел с помощью прикосновения. Характеризуя, например, тепловое состояние очень холодного тела, можно сказать о нем «ледяное», то есть сравнить свои ощущения от прикосновения к этому телу с ощущениями, возникающими при прикосновении ко льду.

Определяя, *насколько нагреты* те или иные тела, мы сравниваем их температуры. Когда говорят: «Сегодня на улице теплее, чем вчера»,— это значит, что температура воздуха на улице сегодня выше, чем вчера; фраза «Снег на ощупь холодный» означает, что температура снега ниже температуры руки. Таким образом, на интуитивном уровне мы определяем температуру тела как физическую величину, характеризующую степень нагретости тела.

Рис. 33.1. Опыты для подтверждения субъективности наших ощущений: *а* — гладкая на ощупь бумага кажется холоднее шершавого коврика; *б* — если погрузить левую руку в теплую воду, правую — в холодную, а через некоторое время обе руки поместить в сосуд с водой комнатной температуры, то возникнет странное ощущение: одну и ту же воду левая рука воспримет как холодную, а правая — как теплую

Однако, определяя степень нагретости тел на ощупь, можно дать лишь приблизительную оценку их температуры, да и тело не всегда можно потрогать. Более того, ощущения могут нас обманывать. И действительно, при одной и той же комнатной температуре металлические предметы кажутся более холодными, чем деревянные или пластмассовые, а шершавые — более теплыми, чем гладкие (рис. 33.1, *а*). И даже одно тело в один и тот же момент может иметь на ощупь разную степень нагретости (рис. 33.1, *б*). Поэтому *для более качественного сравнения температур тел используют не субъективные, а объективные факторы.* О некоторых из них пойдет речь ниже.

2 Вводим понятие теплового равновесия

Опыты доказывают: когда тела с разной степенью нагретости контактируют друг с другом, то более нагретое тело всегда охлаждается, а менее нагретое — нагревается. При этом могут изменяться и другие свойства тел: они могут изменить размеры, перейти в другое агрегатное состояние, начать лучше или хуже проводить электрический ток, излучать свет другого цвета и т. п. Вместе с тем одинаково нагретые тела, контактируя друг с другом, не изменяют своих свойств, и тогда говорят, что эти тела находятся *в состоянии теплового равновесия* (рис. 33.2). Итак, дадим определение температуре.

Температура — это физическая величина, характеризующая состояние теплового равновесия системы тел.

3 Вспоминаем физический смысл понятия температуры

Из курса физики 7 класса вы знаете, что температура тела тесно связана со скоростью хаотичного движения его микрочастиц (атомов, молекул, ионов). Это движение так и называют — тепловым.

Рис. 33.2. Одинаково горячие или одинаково холодные тела находятся в состоянии теплового равновесия: *а* — книга на столе находится в состоянии теплового равновесия со столом; *б* — дерево находится в состоянии теплового равновесия с воздухом; *в* — игрушки находятся в состоянии теплового равновесия с водой

Частицы тела всегда движутся, следовательно, всегда *имеют кинетическую энергию*. Чем быстрее движутся частицы, тем выше температура тела.

Вы также знаете, что скорость движения отдельных частиц, а следовательно, и их кинетическая энергия постоянно изменяются. Но при тепловом равновесии *средняя кинетическая энергия* частиц всех тел системы, то есть кинетическая энергия, приходящаяся в среднем на каждую частицу, одинакова. Таким образом, с точки зрения атомно-молекулярной теории *температура является мерой средней кинетической энергии хаотичного движения частиц, из которых состоит тело (система тел)*.

Итак, мы нашли некий объективный фактор для определения температуры — это средняя кинетическая энергия частиц вещества. Этот фактор не зависит от наших ощущений, однако он не поможет измерить температуру, ведь непосредственно измерить среднюю кинетическую энергию движения частиц невозможно.

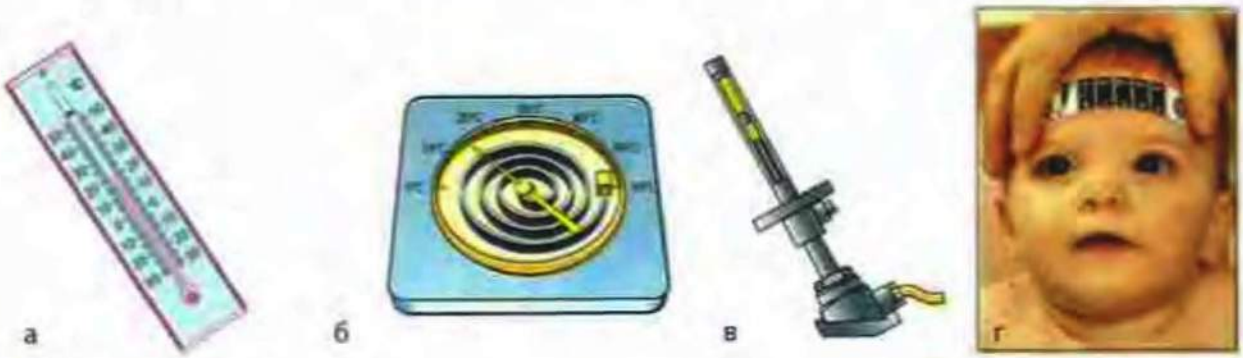
4 Измеряем температуру

Уже отмечалось, что с изменением температуры тела изменяются и некоторые его свойства. Таким образом, измеряя физическую величину, характеризующую какое-либо из таких свойств тела, можно сделать вывод и об изменении температуры тела.

Приборы для измерения температуры называют **термометрами** (от греч. *thermos* — теплый) (рис. 33.3).

Рассмотрим *жидкостный* термометр, принцип действия которого основан на расширении жидкости при нагревании (с этим явлением вы знакомы с 7 класса). Простейший жидкостный термометр (рис. 33.4) состоит из резервуара, наполненного жидкостью, длинной тонкой трубки, в которую выступает столбик этой жидкости, и шкалы. Высота столбика жидкости является мерой темпе-

Рис. 33.3. Различные виды термометров: *а* — жидкостный (мерой температуры является высота столбика жидкости); *б* — металлический деформационный (биметаллическая пластинка, соединенная со стрелкой термометра, изгибается в результате нагревания); *в* — термометр сопротивления (с изменением температуры изменяется сила электрического тока в цепи); *г* — медицинский (вследствие изменения температуры меняется цвет определенного участка термометра)



ратуры: чем выше температура тела, тем выше столбик жидкости в термометре.

Чтобы по высоте столбика жидкости можно было определять температуру, следует нанести шкалу и прежде всего обозначить на ней так называемые *реперные* точки. Такие точки должны быть однозначно связаны с какими-то физическими процессами, которые легко воссоздать. Так, чтобы изготовить широко используемую *шкалу Цельсия*, в качестве реперных точек берут:

— *температуру таяния чистого льда при нормальном атмосферном давлении*. Для этого будущий термометр опускают в тающий лед и, дождавшись, когда столбик жидкости прекратит движение, напротив верхнего положения столбика ставят отметку 0 °С (рис. 33.5, *а*);

— *температуру кипения воды при нормальном атмосферном давлении*. Будущий термометр частично погружают в кипящую воду и положение столбика жидкости обозначают как 100 °С (рис. 33.5, *б*).

Разделив промежуток между отметками 0 и 100 °С на сто равных частей, получим термометр, проградуированный по шкале Цельсия, и единицу температуры по этой шкале — *градус Цельсия** (°С).

Один градус Цельсия равен одной сотой части изменения температуры воды при ее нагревании от температуры плавления до температуры кипения при нормальном атмосферном давлении.

Температуру, измеренную по шкале Цельсия, обозначают символом t.

Обратите внимание: *термометр всегда показывает свою собственную температуру*, поэтому, измеряя температуру тела, нужно дождаться состояния теплового равновесия между этим телом и термометром.

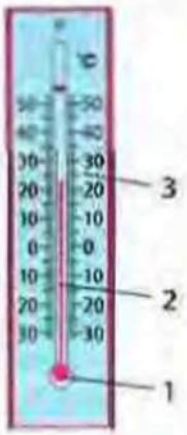


Рис. 33.4. Строение жидкостного термометра: *1* — резервуар; *2* — трубка; *3* — шкала

Рис. 33.5. Построение температурной шкалы Цельсия: *а* — температуре таяния льда приписывают значение 0 °С; *б* — температуре кипения воды — значение 100 °С

* Кроме шкалы Цельсия, используют другие температурные шкалы: Кельвина, Фаренгейта, Реомюра. В СИ в качестве основной единицы температуры принят *кельвин* (К).

Подводим итоги

Параметры контактирующих тел через некоторое время перестают изменяться. Тогда говорят, что тела находятся в состоянии теплового равновесия. Физическую величину, характеризующую состояние теплового равновесия, называют температурой. Температура является мерой средней кинетической энергии движения частиц, из которых состоит тело.

На практике мы чаще имеем дело с такой единицей температуры, как градус Цельсия (°C). Один градус Цельсия равен одной сотой части изменения температуры воды при ее нагревании от температуры плавления до температуры кипения при нормальном атмосферном давлении.

Приборы для измерения температуры называют термометрами. Действие термометров основано на способности тел изменять свои свойства при изменении температуры.

Контрольные вопросы

1. Почему на ощупь нельзя точно определить температуру тела? 2. В чем заключается состояние теплового равновесия? 3. Дайте определение температуры тела. 4. Почему хаотичное движение молекул тела называют тепловым движением? 5. Что такое термометр? 6. Какие виды термометров вы знаете? Опишите принцип действия жидкостного термометра. 7. Назовите реперные точки шкалы Цельсия. 8. Температуру какого тела всегда показывает термометр?

Упражнение № 33

1. Чем неудобен термометр, который вместо ртути заполнен водой?
2. Измеряя температуру тела, термометр следует держать под мышкой несколько минут. Почему?
3. Почему размеры термометра должны быть небольшими по сравнению с размерами тела, температуру которого измеряют?

Экспериментальное задание

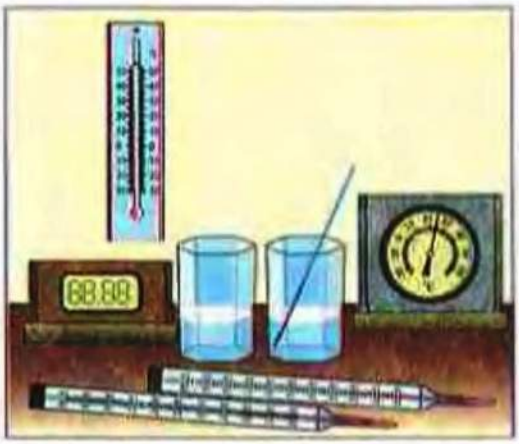
Проведите опыт с горячей и холодной водой, приведенный в пункте 1 данного параграфа. Опишите последовательность своих действий и сделайте вывод.

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича был основан в 1875 г. по указу императора Австро-Венгрии Франца Иосифа. Тогда в университете были только теологический, философский и юридический факультеты.

Сегодня в университете функционирует 16 факультетов, на которых обучаются свыше 16 тыс. студентов. Учебно-научную работу вуза обеспечивают около 100 докторов наук, профессоров, 500 кандидатов наук, доцентов. Среди основных направлений исследований, связанных с физикой, можно назвать теоретические и прикладные исследования полупроводникового материаловедения; разработку новых технологий, материалов, микросхем и приборов для опто-, радио- и микроэлектроники, полупроводникового приборостроения; статическую оптику; голографию и др.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11



Тема. Измерение температуры с помощью разных термометров.

Цель: измерить температуру воды и воздуха, пользуясь разными термометрами; изучить строение и принцип действия спиртового термометра.

Оборудование: два спиртовых термометра с различными ценами деления шкал, несколько видов комнатных термометров (например, жидкостный, металлический деформационный, электронный), два стакана, один из которых примерно наполовину наполнен холодной водой, а второй — теплой, деревянная или пластиковая палочка для перемешивания жидкостей (мешалка).

Теоретические сведения

Правила пользования жидкостным термометром

1) Термометр необходимо хранить в специальном футляре. После проведения измерения термометр следует сразу же убрать в футляр.
2) Снимая показания, термометр следует все время держать в среде, температуру которой измеряют (исключение, например, термометры максимальной температуры*).
3) Во время измерения нужно следить за правильным положением глаз — они должны быть на уровне верхней границы столба жидкости.
4) Измеряя температуру жидкости, ее следует слегка перемешивать мешалкой.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Внимательно прочитайте правила пользования термометром.
2. Рассмотрите строение спиртового термометра (резервуар со спиртом, запаянная сверху тонкая стеклянная трубка, шкала), разберитесь в принципе его действия.
3. Определите цену деления шкалы и границы измерения каждого из предложенных термометров (если термометр цифровой, то границы измерения определяют по паспорту).

* Обычный медицинский термометр — это термометр максимальной температуры: после достижения температуры вашего тела его столбик самостоятельно не опускается.

4. Результаты занесите в табл. 1.

Таблица 1

Термометр	Блок отметок шкалы				
	Два соседних значения, обозначенные цифрами	Количество делений между соседними цифрами	Цена деления шкалы	Границы измерения	
				верхняя	нижняя

Эксперимент

1. С помощью различных комнатных термометров определите температуру воздуха в комнате. Результаты измерений занесите в табл. 2.
2. Обоими спиртовыми термометрами измерьте температуру холодной воды.
3. Обоими спиртовыми термометрами измерьте температуру теплой воды.
4. Измерьте температуру смеси. Для этого в стакан с теплой водой вылейте холодную воду; осторожно перемешивая воду мешалкой, наблюдайте за изменением температуры на обоих спиртовых термометрах. Запишите наибольшие показания каждого термометра.
5. Закончите заполнение табл. 2.

Таблица 2

Измерение температуры воздуха		Измерение температуры жидкости			
Термометр	Температура t, °C	Термометр	Температура воды t, °C		
			холодной	горячей	смеси

Анализ результатов эксперимента

Сравните результаты измерений, выполненных с помощью разных термометров. Сделайте вывод, в котором укажите, какую физическую величину вы измеряли, какой термометр, на ваш взгляд, дает наиболее точный результат, какой — удобнее в применении, какой — универсален, более практичен.

Творческое задание

Подготовьте реферат на одну из тем: «История термометров»; «Различные температурные шкалы»; «Самые удивительные термометры».

§ 34. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

?! В выпусках новостей, когда речь идет о космических исследованиях, вы наверняка слышали фразу типа: «Спутник вошел в атмосферу Земли и прекратил свое существование». Но известно, что спутник обладал огромной механической энергией: кинетической, поскольку он двигался, и потенциальной, поскольку находился высоко над поверхностью Земли. Куда же исчезла эта энергия? Физики объясняют, что она передалась молекулам воздуха и спутника, то есть перешла в энергию внутри вещества. Поэтому эту энергию называют внутренней. О том, что такое внутренняя энергия, и пойдет речь ниже.

1 Знакомимся с понятием «внутренняя энергия»

Мы уже говорили, что благодаря тепловому движению *каждая частица вещества всегда обладает кинетической энергией* (рис. 34.1).

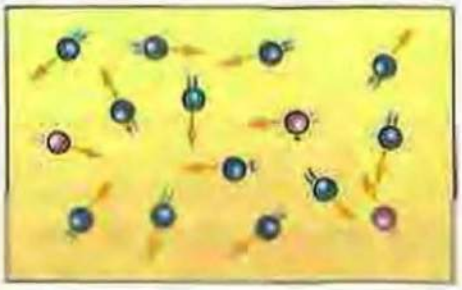


Рис. 34.1. Каждая частица вещества находится в состоянии непрерывного хаотичного движения, благодаря чему обладает кинетической энергией

Разумеется, значение кинетической энергии отдельной частицы невелико, поскольку очень мала масса частицы. Например, кинетическая энергия, приходящаяся в среднем на одну молекулу газа при комнатной температуре, приблизительно равна $5 \cdot 10^{-21}$ Дж. Вместе с тем молекул в единице объема вещества очень много, и поэтому их суммарная кинетическая энергия велика (рис. 34.2).

Частицы вещества обладают и потенциальной энергией, так как взаимодействуют друг с другом — притягиваются и отталкиваются.

Сумму кинетической энергии теплового движения частиц, из которых состоит тело, и потенциальной энергии их взаимодействия называют **внутренней энергией тела**.

Единица внутренней энергии в СИ — **джоуль** (Дж).

Рис. 34.2. Суммарная кинетическая энергия молекул воздуха, например, в платяном шкафу около $4 \cdot 10^5$ Дж (0,4 МДж). Этой энергии достаточно, чтобы всех учащихся вашего класса поднять примерно на 25 м

2 Выясняем, от чего зависит внутренняя энергия тела

Мерой средней кинетической энергии движения частиц, из которых состоит тело, является температура. Поэтому изменение температуры приводит к изменению суммарной кинетической энергии частиц, а следовательно, к изменению внутренней энергии тела.

Кроме того, с изменением температуры тело расширяется или сжимается. При этом

Рис. 34.3. В разных агрегатных состояниях взаимное расположение молекул вещества различно, поэтому отличается и потенциальная энергия взаимодействия молекул

изменяется расстояние между частицами вещества и, следовательно, изменяется потенциальная энергия их взаимодействия. Это тоже, в свою очередь, обусловливает изменение внутренней энергии тела.

Итак, *внутренняя энергия тела зависит от температуры тела.*

Внутренняя энергия зависит и от агрегатного состояния вещества, так как изменение взаимного расположения частиц вещества приводит к изменению потенциальной энергии их взаимодействия (рис. 34.3, 34.4).

3 Различаем внутреннюю энергию и механическую энергию

При изучении механики мы говорили, что сумму кинетической и потенциальной энергий системы тел называют полной механической энергией данной системы. Кто-то, возможно, скажет: «Получается, что внутренняя и механическая энергии — одно и то же!» Однако это не так.

В чем-то формально похожие, эти понятия отличаются по своей сути — их даже изучают в разных разделах физики. Со временем вы узнаете об этом подробнее, а сейчас укажем только на некоторые отличия.

Во-первых, когда говорят о *механической* энергии, то это значит, что рассматривают *тело (или несколько тел)*. А вот если речь идет о *внутренней* энергии, то рассматривают *движение и взаимодействие очень большого количества частиц* (10^{23} или более). Разумеется, в случае с внутренней энергией нельзя отследить индивидуальные характеристики каждой частицы,— поэтому физики используют только *средние характеристики*.

Рис. 34.4. При одинаковой температуре внутренняя энергия льда меньше внутренней энергии такой же массы воды: во время перехода вещества из твердого состояния в жидкое увеличивается потенциальная энергия взаимодействия молекул воды

Во-вторых, для одного физического тела всегда можно найти систему отсчета, относительно которой это тело не будет иметь механической энергии (см. рис. 29.4). Однако невозможно найти систему отсчета, относительно которой была бы равна нулю внутренняя энергия тела, поскольку не существует системы отсчета, относительно которой не двигались бы все частицы тела.

Рис. 34.5. Внутренняя энергия рюкзака, который лежит на полу *(а)*, стоит на стуле *(б)* или движется вместе с мальчиком *(в)*, одинакова, а его механическая энергия — разная

В-третьих, механическая энергия зависит от движения и расположения физического тела относительно других тел или частей тела относительно друг друга. Внутренняя же энергия определяется характером движения и взаимодействия только частиц тела. Например, внутренняя энергия рюкзака, который лежит на полу, стоит на стуле или «путешествует» с вами по школьному коридору, одинакова. А вот его механическая энергия в этих ситуациях будет разной (рис. 34.5).

Подводим итоги

Любое физическое тело обладает внутренней энергией. Внутренней энергией тела называют сумму кинетической энергии теплового движения частиц, из которых состоит тело, и потенциальной энергии их взаимодействия.

Внутренняя энергия тела зависит от его температуры и агрегатного состояния вещества, из которого это тело состоит.

Контрольные вопросы

1. Почему частицы вещества обладают потенциальной энергией? всегда обладают кинетической энергией? 2. Что называют внутренней энергией тела? 3. От чего зависит внутренняя энергия тела? 4. Пока лед плавится, его температура не изменяется. Изменяется ли при этом внутренняя энергия льда? 5. Может ли тело обладать внутренней энергией, но не иметь при этом механической энергии?

Упражнение № 34

1. Если поднять камень, то потенциальная энергия камня, а следовательно, каждой его частицы, увеличится. Означает ли это, что внутренняя энергия камня тоже увеличится? Поясните свой ответ.
2. Мяч брошен вверх. Как во время движения мяча изменяется его внутренняя энергия? механическая энергия? Сопротивлением воздуха пренебречь.
3. Как изменяются внутренняя и механическая энергии бутылки с водой в вашем рюкзаке, когда вы в морозную погоду входите с улицы в теплый дом? поднимаетесь на второй этаж здания? ускоряете движение по школьному коридору?

4*. Металлический шарик подвесили на веревке и нагрели. Как изменилась внутренняя энергия шарика? механическая энергия?

§ 35. СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

?! Вспомните, что делают ваши одноклассники после игры в снежки на перемене. Кто-то энергично трет руки, кто-то прижимает их к теплой батарее. Для чего они это делают? Конечно, чтобы согреть замерзшие руки. А чем отличаются способы нагревания с помощью трения и в результате контакта с телом, имеющим более высокую температуру?

Рис. 35.1. Выключенный горячий утюг остывает — передает определенное количество теплоты окружающей среде, пока не установится тепловое равновесие

Рис. 35.2. Бенджамин Томсон (граф Румфорд) (1753–1814), английский физик, в конце XVIII в. впервые экспериментально доказал, что теплота — это энергия, которую можно получить за счет выполнения работы

1 Знакомимся с процессом теплопередачи и понятием количества теплоты

Вам хорошо известно, что, если выключить из розетки горячий утюг, через некоторое время он остынет (рис. 35.1); погруженная в горячий чай холодная ложка обязательно нагреется. В каждом из этих случаев изменяется температура тел, и это значит, что изменяется их внутренняя энергия. В то же время все эти тела остаются на своих местах, следовательно, никакой работы не выполняют.

В таких случаях говорят о *передаче тепла*. Нагретый утюг передает тепло окружающему воздуху, горячий чай — той части ложки, которая погружена в него, более нагретая часть ложки — менее нагретой и т. п.

Процесс изменения внутренней энергии тела или частей тела без совершения работы называют **теплопередачей (теплообменом).**

Для количественной характеристики процесса теплопередачи используют понятие *количества теплоты*.

Количество теплоты — это физическая величина, значение которой равно энергии, получаемой или отдаваемой телом в процессе теплопередачи.

Количество теплоты обозначают символом Q. *Единица количества теплоты в СИ* — **джоуль** (Дж)*.

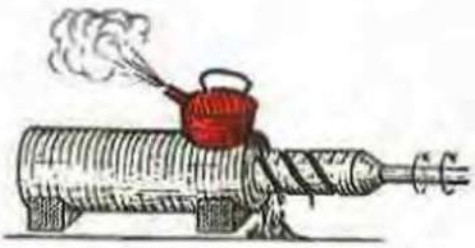


Рис. 35.3. Схема эксперимента Румфорда: котелок с водой поставлен на заготовку пушечного ствола; вода закипает в результате сверления ствола

Опыты убеждают, что *процесс теплопередачи возможен только при наличии разности температур, причем передаваться произвольно тепло может только от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой*. Чем больше разность температур, тем быстрее при прочих равных условиях осуществляется процесс передачи тепла. Этот процесс будет длиться до тех пор, пока температуры тел не станут одинаковыми, то есть пока между телами не установится *тепловое равновесие*.

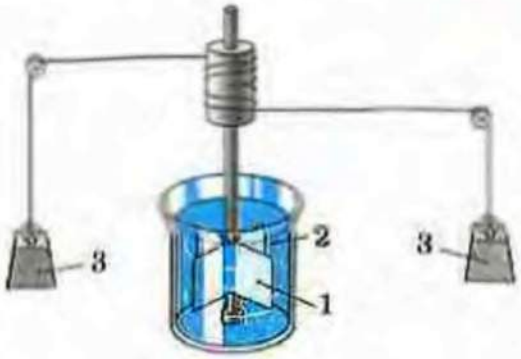


Рис. 35.4. Прибор, с помощью которого в середине XVIII в. Джеймс Джоуль смог точно измерить изменение температуры воды в результате совершения над ней определенной механической работы. Джоуль нагревал воду, перемешивая ее с помощью специального колеса с лопатками *(1)*, помещенного в изолированный контейнер с водой *(2)*; движение колеса обеспечивали грузы *(3)*

2 Изменяем внутреннюю энергию, совершая работу

Многочисленные наблюдения и эксперименты показывают: даже при отсутствии теплообмена *внутреннюю энергию тела можно увеличить, если над телом совершить работу* (рис. 35.2—35.4).

Так, работа сил трения приводит к увеличению внутренней энергии шин автомобиля и дорожного покрытия: во время движения автомобиля они нагреваются. Точно так же, если интенсивно тереть ладони друг о друга, их внутренняя энергия увеличивается (то есть они разогреваются) вследствие работы силы трения (рис. 35.5).

Рис. 35.5. Если интенсивно тереть ладони друг о друга, они разогреваются — их энергия увеличивается вследствие выполнения работы

Описанное явление наблюдается и в технике. Например, в процессе обработки металлических деталей за счет работы сил трения заметно возрастает температура как самого инструмента (сверла, резца и т. п.), так и обрабатываемой детали.

А как изменится внутренняя энергия тела, если оно само выполняет работу? Проведем опыт. Возьмем толстостенный стеклянный сосуд с небольшим количеством воды. Из-за испарения в сосуде образуется водяной пар. Закупорим сосуд и через

* Для измерения количества теплоты издавна применяли такую единицу, как *калория* (от латин. *calor* — тепло). Сейчас эту единицу часто используют для определения энергии, выделяющейся в результате потребления пищевых продуктов: 1 кал ≈ 4,2 Дж.

Рис. 35.6. Опыт, подтверждающий, что при совершении воздухом работы его внутренняя энергия уменьшается. Доказательство — появление тумана в сосуде

отверстие в пробке начнем накачивать в сосуд воздух. Спустя некоторое время, при достижении определенного давления, пробка вылетит, при этом в сосуде появится туман — мелкие капельки воды, образовавшиеся из водяного пара (рис. 35.6). Появление тумана свидетельствует о том, что температура воздуха в сосуде уменьшилась,— соответственно уменьшилась внутренняя энергия воздуха. Таким образом, воздух совершил механическую работу (вытолкнул пробку) за счет уменьшения собственной внутренней энергии. *Если тело само совершает работу, то его внутренняя энергия уменьшается.*

! Подводим итоги

Есть два способа изменить внутреннюю энергию тела: совершение работы и теплопередача.

Процесс изменения внутренней энергии тела без совершения работы называют теплопередачей. Энергия в процессе теплопередачи произвольно может передаваться только от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой.

Количество теплоты — это физическая величина, значение которой равно изменению внутренней энергии в процессе теплопередачи. Количество теплоты обозначают символом Q и измеряют в джоулях (Дж).

При отсутствии теплообмена, когда над телом совершается работа, его внутренняя энергия увеличивается; когда тело само совершает работу, то его внутренняя энергия уменьшается.

? Контрольные вопросы

1. Как можно изменить внутреннюю энергию тела? 2. Что называют теплопередачей? 3. Приведите примеры теплопередачи. 4. Что такое количество теплоты? 5. Назовите единицу количества теплоты. 6. Приведите примеры изменения внутренней энергии тела в результате совершения работы. 7. Как изменяется внутренняя энергия тела в случае, когда оно совершает работу, и в случае, когда над ним совершают работу, при условии, что теплообмен с окружающими телами отсутствует?

Упражнение № 35

1. Почему бойцы, десантирующиеся с вертолетов по канатам, надевают перчатки?
2. Мы можем согреть руки, использовав контакт с телом, имеющим более высокую температуру, или трение. Чем отличаются эти способы?
3. Правильно ли утверждение, что в процессе теплопередачи энергия всегда переходит от тела с большей внутренней энергией к телу с меньшей внутренней энергией? Свой ответ обоснуйте.

4*. Приведите примеры, когда одновременно совершается работа и происходит теплопередача. Может ли в таких случаях внутренняя энергия остаться неизменной?

§ 36. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

?! Зачем жители жарких районов Центральной Азии летом носят ватные халаты? Как сделать, чтобы мороженое в летнюю жару быстро не растаяло, если рядом нет холодильника? В какой обуви быстрее озябнут ноги: в той, которая плотно прилегает к ноге, или в просторной? После изучения данного параграфа вы сможете правильно ответить на все эти вопросы.

1 Знакомимся с механизмом теплопроводности

Проведем опыт. Закрепив в лапке штатива медный стержень, прикрепим воском вдоль стержня несколько канцелярских кнопок. Если свободный конец стержня нагревать в пламени спиртовки, то спустя некоторое время кнопки по очереди будут падать на стол (рис. 36.1).

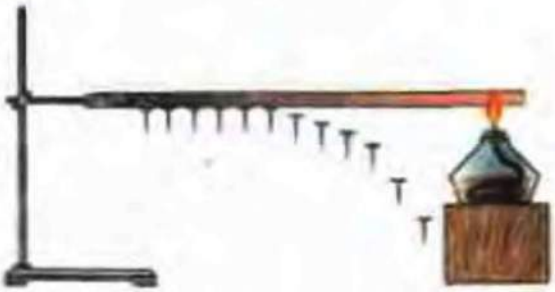


Рис. 36.1. Опыт, демонстрирующий теплопроводность металла

Для объяснения этого явления воспользуемся знаниями атомно-молекулярной теории.

Когда конец стержня помещают в пламя спиртовки, то сначала разогревается именно эта часть стержня и увеличивается скорость колебательного движения только тех частиц металла, которые находятся непосредственно в пламени. Эти частицы, взаимодействуя с соседними частицами, «раскачивают» и их, то есть увеличивают скорость их колебательного движения. В результате повышается температура следующей части стержня и т. д. Образно можно сказать, что вдоль стержня идет «волна» тепла, которая последовательно разогревает металл. Тепло от металла передается воску, он размягчается, и кнопки одна за другой отпадают от стержня.

Обратите внимание, что в ходе этого процесса само вещество (медь) не перемещается от одного конца стержня к другому.

Теплопроводность — это процесс передачи тепла от одних частей тела к другим его частям или от одних тел к другим телам, который обусловлен хаотичным движением частиц вещества и не сопровождается перемещением этого вещества.

2 Убеждаемся, что разные вещества проводят тепло по-разному

Вы, конечно, замечали, что одни вещества проводят тепло лучше, чем другие. Так, если поместить в стакан с горячим чаем две чайные ложки — стальную и серебряную,— то серебряная нагреется намного быстрее. Это значит, что серебро лучше проводит тепло, чем сталь.

Рис. 36.2. Опыты, иллюстрирующие плохую теплопроводность дерева *(а)* и воды *(б)*

Установлено, что лучшие проводники тепла — металлы. Дерево, стекло, немало видов пластмасс проводят тепло значительно хуже, именно поэтому мы можем, например, держать зажженную спичку до тех пор, пока пламя не дойдет до пальцев (рис. 36.2, *а*).

Плохо проводят тепло и жидкости (исключение — расплавленные металлы). Проведем опыт. На дно пробирки с холодной водой положим кусочек льда, а чтобы он не всплывал, прижмем его небольшим грузом. Если нагревать на спиртовке верхний слой воды, через какое-то время вода у поверхности закипит, а лед внизу пробирки еще не растает (рис. 36.2, *б*).

Еще хуже, чем жидкости, проводят тепло газы. И это легко объяснимо. Расстояние между молекулами в газах намного больше, чем в жидкостях и твердых телах. Поэтому столкновения частиц происходят реже, и соответственно энергия от одной частицы к другой переносится медленнее.

Стекловолокно, вата, мех очень плохо проводят тепло, поскольку, во-первых, между их волокнами находится воздух, а во-вторых, эти волокна плохо проводят тепло сами по себе.

3 Обращаем внимание на теплопроводность в природе и жизни человека

Вы, наверное, знаете, что домашние животные весной и осенью линяют. Весной мех животных становится более коротким и редеет, осенью, наоборот, удлиняется и становится гуще. Шерсть, мех, пух плохо проводят тепло и надежно защищают тела животных от охлаждения.

Представители фауны, обитающие в холодных морях (тюлени, моржи), под кожей имеют толстую жировую прослойку, которая благодаря слабой теплопроводности позволяет им долгое время находиться в воде не переохлаждаясь.

Многие насекомые зимой закапываются глубоко в землю — ее хорошие теплоизоляционные свойства позволяют выжить им даже в сильные морозы. Некоторые растения пустыни покрыты мелкими ворсинками: воздух между ними препятствует теплообмену с окружающей средой.

Человек часто применяет те или иные вещества, учитывая их теплопроводность. Вещества с хорошей теплопроводностью приме-

Рис. 36.3. Там, где нужно быстро передать тепло от одного тела к другому, применяют вещества с высокой теплопроводностью

Рис. 36.4. Чтобы не допустить нагревания или охлаждения тел, используют вещества с малой теплопроводностью: *а* — пористый кирпич является хорошим теплоизолятором; *б* — куртка с подкладкой, наполненной пухом, надежно защитит от холода

няют там, где нужно быстро передать тепло от одного тела к другому. Например, кастрюли, сковородки, батареи отопления и т. п. изготовляют из металлов (рис. 36.3).

А если нужно предотвратить нагревание или охлаждение тел, применяют вещества, плохо проводящие тепло. Например, деревянная ручка турки позволяет налить кофе, не пользуясь прихваткой, а в водопроводных трубах, проложенных глубоко под землей, вода не замерзает даже в очень сильные морозы и т. д. (рис. 36.4).

! **Подводим итоги**

Теплопроводность — это процесс передачи тепла от одних тел к другим телам или от одних частей тела к другим его частям, который обусловлен хаотичным движением частиц вещества и не сопровождается перемещением этого вещества.

Вещество в разных агрегатных состояниях, а также различные вещества имеют разную теплопроводность. Самые лучшие проводники тепла — металлы, самые плохие — газы.

Человек широко использует способность различных веществ по-разному проводить тепло.

? **Контрольные вопросы**

1. Что называют теплопроводностью? 2. На каком примере можно убедиться, что металлы хорошо проводят тепло? 3. Как происходит передача энергии при теплопроводности? 4. В каком состоянии вещество хуже проводит тепло — в твердом, жидком или газообразном? 5. Почему животные не замерзают даже в сильный мороз? 6. Какие материалы хорошо проводят тепло? Где их применяют? 7. Назовите материалы, плохо проводящие тепло. Где их применяют?

Упражнение № 36

1. Почему с точки зрения физики выражение «шуба греет» неправильно?
2. Почему под соломой снег долго не тает?
3. Почему двойные рамы в окнах способствуют лучшей теплоизоляции квартир?
4. Почему в бесснежные зимы озимые посевы страдают от морозов?
5*. При комнатной температуре металлические вещи на ощупь кажутся более холодными, чем деревянные. Почему? Когда металлические предметы будут казаться на ощупь более теплыми, чем деревянные? одинаковыми с ними по температуре?

Экспериментальное задание

Возьмите два кусочка льда, каждый положите в отдельный полиэтиленовый пакет. Один из пакетов тщательно обложите ватой. Положите пакеты на тарелки и поставьте их в шкаф. Через час разверните пакеты. Объясните результат.

§ 37. КОНВЕКЦИЯ

?! Представьте жаркий летний полдень, берег моря. Вода на поверхности теплая, а ее нижние слои — прохладные. От воды веет легкий ветерок. А откуда берется этот ветерок, ведь немного дальше от воды деревья даже не шевелятся? И почему нагрелся только верхний слой воды, ведь солнце печет уже достаточно долго? Попробуем ответить на эти вопросы, а также на ряд других.

1 Наблюдаем конвекцию в жидкостях и газах

Вы уже знаете, что газы и жидкости плохо проводят тепло. Возникают вопросы: почему же тогда нагревается воздух в комнате от радиаторов водяного отопления? почему нагревается вода в кастрюле, поставленной на включенную плиту? Чтобы ответить на них, обратимся к опытам.

Рис. 37.1. Опыт, демонстрирующий конвекцию в жидкости. Окрашенные теплые струйки воды поднимаются, а холодные — опускаются

Наполним круглодонную колбу на три четверти водой и закрепим ее в лапке штатива. Стеклянной палочкой положим на дно колбы несколько крупинок акварельной краски и станем нагревать колбу снизу. Спустя некоторое время со дна колбы начнут подниматься окрашенные струйки воды. Достигнув верхних слоев воды, они будут спускаться вдоль более холодных стенок (рис. 37.1); далее процесс повторится. В результате произойдет естественное перемешивание нагретых и ненагретых частей жидкости.

Такой же процесс может происходить и в газах. Чтобы в этом убедиться, достаточно

подержать ладонь над горячей электроплитой или включенной электрической лампой. Восходящие потоки горячего воздуха могут даже вращать легкую вертушку (рис. 37.2).

В приведенных случаях наблюдаем еще один вид теплопередачи — *конвекцию*.

Конвекция — это вид теплопередачи, при котором тепло переносится потоками жидкости или газа.

Обратите внимание: *конвекция не может происходить в твердых телах*, поскольку в них не могут возникнуть потоки вещества.

Рис. 37.2. Восходящие потоки горячего воздуха, действуя на легкую металлическую вертушку, заставляют ее вращаться

2 Знакомимся с механизмом конвекции

Выясним причины возникновения *естественной конвекции*. Для этого мысленно выделим небольшой объем жидкости в сосуде, размещенном над горелкой.

Вы знаете, что на любое тело внутри жидкости (или газа) действуют сила тяжести и архимедова сила. Те же силы действуют на любой небольшой объем самой жидкости. Как известно, при повышении температуры жидкость расширяется, ее плотность уменьшается и архимедова сила, действующая на выделенный объем жидкости, становится больше, чем сила тяжести (рис. 37.3). Вследствие этого нагретая жидкость (имеющая меньшую плотность) всплывает, а холодная жидкость (имеющая бóльшую плотность) опускается.

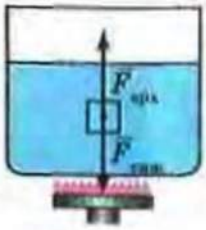


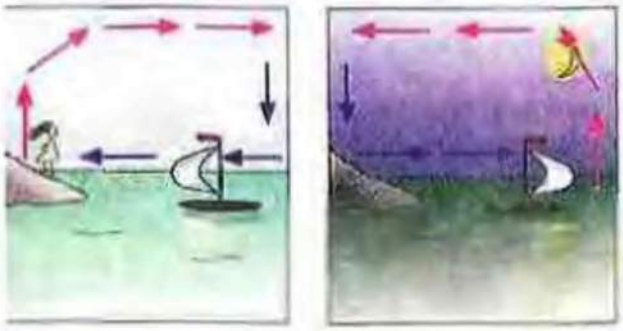
Рис. 37.3. На любой небольшой объем жидкости, находящийся внутри жидкости, действуют сила тяжести и архимедова сила

Аналогичные соображения справедливы и для газов.

Часто естественное перемешивание слоев жидкости или газа невозможно или недостаточно. В таком случае прибегают к их искусственному перемешиванию — *принудительной конвекции* (рис. 37.4). Например, принудительное перемешивание воздуха осуществляют в космическом корабле, в условиях невесомости, где сила Архимеда не действует.

Рис. 37.4. Вода в сосуде нагревается благодаря естественной конвекции. Но для более равномерного прогревания, например, густой каши хозяйка прибегает к принудительной конвекции — перемешивает кашу ложкой

Рис. 37.5. Сильные ветры — это мощные конвекционные потоки (И. К. Айвазовский «Девятый вал»)



а б

Рис. 37.6. Образование бризов — дневных и ночных — объясняется конвекцией: *а* — дневной (морской) бриз; *б* — ночной (береговой) бриз

Рис. 37.7. Небольшой тепловой радиатор благодаря конвекции обогревает все помещение

3 Наблюдаем конвекцию в природе и используем ее в повседневной жизни

Естественная конвекция имеет очень большое значение в природе и широко применяется человеком.

Из курса географии вам известно, что одним из факторов, влияющих на климат Земли, являются ветры. А знаете ли вы, что одной из основных причин появления ветров на планете является конвекция (рис. 37.5)?

Рассмотрим, например, как образуется *бриз* — ветер, возникающий у берега моря или большого озера. Днем суша прогревается быстрее, чем вода, поэтому температура воздуха над сушей выше, чем над поверхностью воды. Воздух над сушей расширяется, его плотность уменьшается, и он поднимается вверх. В результате давление над сушей падает и холодный воздух с поверхности водоема начинает низом перемещаться к суше — возникает *дневной (морской) бриз* (рис. 37.6, *а*). Ночью картина меняется на противоположную: суша остывает быстрее, вода соответственно имеет более высокую температуру, и ветер с поверхности земли дует от берега к морю. Этот ветер — *ночной (береговой) бриз* (рис. 37.6, *б*).

Из-за неравномерного нагревания воды возникают постоянные течения в водах рек, морей, океанов. Как и ветры, течения играют большую роль в формировании климата на нашей планете.

С конвекцией мы имеем дело не только в природе, но и в повседневной жизни. Так, благодаря конвекции происходит обогрев и охлаждение помещений (рис. 37.7), нагревается вода в чайнике. Образование тяги — тоже проявление конвекции (рис. 37.8). Воз-

дух в печи нагревается и расширяется, его плотность уменьшается, и теплый воздух направляется вверх, в трубу. В результате давление воздуха вокруг дров и в трубе уменьшается и становится меньшим, чем давление воздуха в комнате; благодаря этому обогащенный кислородом холодный воздух поступает к дровам.

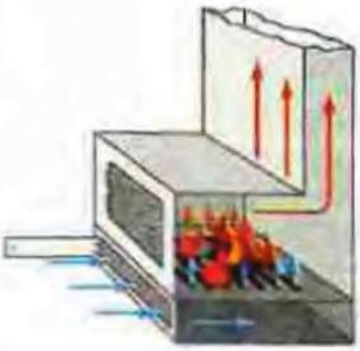


Рис. 37.8. Образование тяги: обогащенный кислородом холодный воздух поступает в печь благодаря конвекции

Подводим итоги

Конвекция — это вид теплопередачи, при котором тепло переносится потоками жидкости или газа. В твердых веществах этот вид теплопередачи невозможен. Различают естественную и принудительную конвекции.

Естественную конвекцию можно объяснить наличием архимедовой силы и явлением теплового расширения. Теплые слои жидкости или газа (имеющие меньшую плотность) направляются вверх, а холодные (большей плотности) — опускаются.

Контрольные вопросы

1. Опишите опыт, доказывающий, что в процессе нагревания теплые потоки жидкости поднимаются, а холодные — опускаются. 2. Что называют конвекцией? 3. Чем отличается конвекция от теплопроводности? 4. Назовите причины возникновения естественной конвекции. 5. Возможна ли конвекция в веществах, находящихся в твердом состоянии? Почему? 6. Что называют принудительной конвекцией? 7. Приведите примеры проявления конвекции в природе и в жизни человека.

Упражнение № 37

1. Где лучше разместить сосуд с водой, чтобы быстрее ее нагреть: над нагревателем, под нагревателем или сбоку от него? Где лучше разместить тело, чтобы быстрее охладить его с помощью льда: на льду, подо льдом или рядом с ним? Ответы аргументируйте.
2. Почему языки пламени поднимаются?
3. Почему летом вода в реке на глубине холоднее, чем на поверхности?

4*. Известно, что в результате конвекции слои жидкости с большей плотностью всегда опускаются. Почему же зимой водоемы не промерзают до дна?

Экспериментальные задания

1. Зажгите свечу, размещенную на подставке, и исследуйте направление конвекционных потоков вдоль открытой двери (см. рис. 1). Объясните результаты наблюдений.

Рис. 1

2. Вырежьте из тонкой бумаги прямоугольник, согните его по серединным линиям и снова расправьте. Закрепив на ластике швейную иглу острием вверх, разместите на ней подготовленный бумажный листок (см. рис. 2). Осторожно приблизьте раскрытую ладонь к листку. Он начнет вращаться. Отодвиньте ладонь — листок остановится. Вам остается показать фокус друзьям и объяснить это явление. (*Подсказка*: температура ладони не везде одинакова.)

Рис. 2

§ 38. ИЗЛУЧЕНИЕ

?! В основе нашей цивилизации лежит обмен энергией. Большей частью энергия поступает на Землю от Солнца (рис. 38.1). Используют солнечную энергию листья и цветы, распускающиеся весной под солнечными лучами, ветры и течения, возникающие вследствие разности температур прогретых Солнцем участков Земли. А такие источники тепловой энергии, как нефть, газ, уголь, «выросли» под солнечными лучами глубокой древности. Возникает вопрос: как энергия от Солнца попадает на Землю, ведь между этими космическими объектами практически нет молекул, то есть ни о теплопроводности, ни о конвекции не может быть и речи?

1 Знакомимся с излучением

Если стать возле открытого огня (костра, печи и т. п.), то можно ощутить, что лицо и другие открытые участки тела нагреваются. Это означает, что от огня передается определенное количество теплоты. Но как передается тепло? Воспользуемся научными методами изучения природы, к которым относятся *наблюдение*, *размышление*, *эксперимент*.

Мы *наблюдаем*, что языки пламени поднимаются (если это костер) или направляются в трубу (если это печь или камин), следовательно, туда же движется и теплый воздух. Отсюда первый вывод: *тепло* от открытого огня *передается не в результате конвекции* (рис. 38.2).

Выдвинем *гипотезу*: возможно, энергия передается благодаря теплопроводности.

Рис. 38.1. Солнце ежесекундно излучает в окружающее пространство колоссальное количество энергии, определенная часть которой попадает на Землю

Чтобы проверить гипотезу, проведем *эксперимент*: поместим возле огня лист металла (рис. 38.3, *а*). Он надежно защитит от жара, хотя металл хорошо проводит тепло. Заменив лист металла стеклом (рис. 38.3, *б*), убеждаемся, что прозрачное стекло, несмотря на хорошие теплоизоляционные свойства, защищает от жара хуже, чем непрозрачный металл. Делаем второй вывод: тепло от открытого огня передается не только благодаря теплопроводности.

Итак, в данном случае имеем дело еще с одним видом теплопередачи — его называют *излучением*.

Рис. 38.2. Наблюдения подтверждают, что, стоя возле открытого огня, мы получаем энергию, но не в результате конвекции

Излучение — это вид теплопередачи, при котором энергия передается с помощью электромагнитных волн.

Любое тело всегда излучает электромагнитные волны. Чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает.

2 Выясняем некоторые особенности излучения

Электромагнитные волны могут распространяться в вакууме, поэтому при излучении, в отличие от других видов теплопередачи, энергия может передаваться через пространство, в котором нет вещества. Например, энергия от Солнца передается к Земле и другим планетам только благодаря излучению. Однако неправильно было бы думать, что излучение играет важную роль только в космосе. *Излучение — это универсальный вид теплопередачи, оно осуществляется между всеми телами.*

Из курса физики 7 класса вам известно, что тела частично отражают видимый свет, частично поглощают его и частично пропускают. Эти процессы зависят от оптических свойств материалов, из которых состоят тела. Так, черная краска, нанесенная на поверхность тела, поглощает свет, белая — отражает, а прозрачное стекло бо́льшую часть падающего света пропускает. Эти свойства видимого света присущи и *тепловому излучению*.

а

б

Рис. 38.3. Металл, который хорошо проводит тепло, лучше защищает от горячего пламени (*а*), чем стекло, являющееся плохим проводником тепла (*б*)

Рис. 38.4. Теплоприемник: *1* — отполированная поверхность коробки; *2* — черная поверхность; *3* — ручка; *4* — трубка для соединения внутренней части коробки теплоприемника с жидкостным манометром

Чтобы доказать это, воспользуемся *теплоприемником* (рис. 38.4). Закрепим его в муфте штатива и соединим с жидкостным манометром. К черной стороне теплоприемника поднесем электрическую плитку (рис. 38.5, *а*). Уровень жидкости в колене манометра, соединенном с теплоприемником, снизится. Это значит, что воздух в коробке нагрелся и расширился. Повернем теплоприемник отполированной поверхностью к плитке — в этом случае разность уровней жидкости в коленах манометра будет намного меньше (рис. 38.5, *б*), то есть воздух в теплоприемнике нагреется слабее.

Следовательно, *тела с темной поверхностью лучше поглощают тепловое излучение, чем тела со светлой или отполированной поверхностью.*

С помощью похожих опытов установлено также, что *тела с темной поверхностью не только лучше поглощают тепловое излучение, но и активнее излучают тепло, а следовательно, быстрее охлаждаются.*

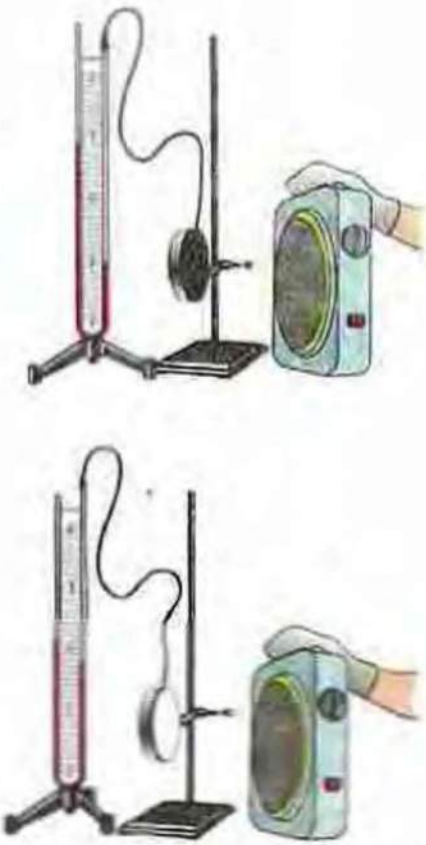


Рис. 38.5. Опыт, демонстрирующий, что способность тела поглощать тепло зависит от цвета его поверхности

Следует добавить, что благодаря излучению все тела при любой температуре обмениваются энергией. То есть *любое тело одновременно и излучает, и поглощает тепло.* Если температура тела больше температуры окружающих тел, то оно излучает энергии больше, чем поглощает. Если же тело холоднее окружающих тел, то поглощаемая им энергия будет больше, чем излучаемая. Следовательно, *излучение, как и любой другой вид теплопередачи, в конце концов приводит к тепловому равновесию.*

Подводим итоги

Вид теплопередачи, при котором энергия передается с помощью электромагнитных волн, называют излучением.

Излучение — это универсальный вид теплопередачи, оно осуществляется между всеми телами (даже когда они находятся в вакууме).

Интенсивность излучения и поглощения телом энергии зависит от цвета поверхности тела. Тела с темной поверхностью лучше излучают и поглощают энергию. Тела со светлой и серебристой поверхностями, наоборот, хуже и излучают, и поглощают тепло.

Контрольные вопросы

1. Почему энергия от Солнца к Земле не может передаваться ни конвекцией, ни теплопроводностью? 2. Опишите опыт, подтверждающий, что энергия костра может передаваться не только благодаря теплопроводности. 3. Что называют излучением? 4. Тела какого цвета лучше поглощают тепло? Опишите опыт в подтверждение вашего ответа. 5. Существуют ли такие условия, при которых тело не излучает и не поглощает энергию? 6. Что можно сказать о соотношении поглощения и излучения энергии телом, если температура тела уменьшается?

Упражнение № 38

1. Почему летом люди обычно носят светлую одежду?
2. Почему отопительные батареи лучше покрывать темной краской?
3. Какой цвет лучше выбрать для окраски фургонов рефрижераторов?
4. Зимой в неотапливаемом помещении, окна которого «смотрят» на юг, довольно тепло. Когда такое может быть? Почему?
5. Почему весной загрязненный снег тает быстрее, чем чистый?
6. Для чего в термосах между стенками колбы откачивают воздух, а поверхность колбы покрывают слоем отполированного металла?

§ 39. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВЕЩЕСТВА. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, КОТОРОЕ ПОГЛОЩАЕТ ВЕЩЕСТВО ПРИ НАГРЕВАНИИ ИЛИ ВЫДЕЛЯЕТ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

?! На вопрос «Что быстрее нагреется: два или три килограмма жидкости?» — кто-то быстро ответит, что два: понятно же, что три килограмма будут нагреваться дольше. Этот ответ, возможно, будет правильным, а возможно — нет. Так что, не торопитесь с выводами, выясним все по-порядку.

1 Выясняем, от чего зависит количество теплоты, необходимое для нагревания тела

Если в одинаковые сосуды поместить две жидкости массами 0,2 и 0,3 кг и с помощью одинаковых нагревателей нагреть их от 20 до 100 °С, жидкость какой массы нагреется быстрее?

Подумаем над этим вопросом. Во-первых, очевидно, что если жидкость одна и та же, например, это вода, то для нагревания 0,3 кг воды нужно больше времени, а следовательно, и большее количество теплоты, чем для нагревания 0,2 кг. Это значит, *что количество теплоты, необходимое для нагревания тела, зависит от массы этого тела.*

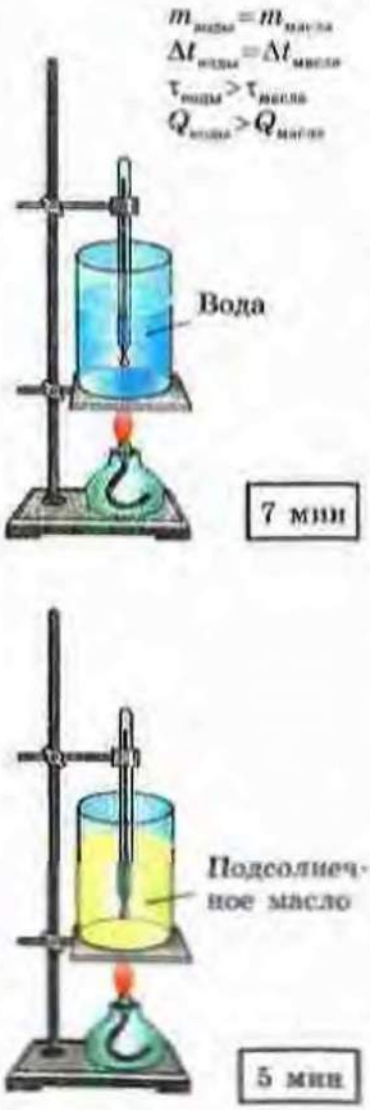


Рис. 39.1. Опыт по изучению зависимости количества теплоты, необходимого для нагревания вещества, от рода вещества. Взяты разные вещества одинаковой массы. Для одинакового изменения их температуры требуется разное время, то есть разное количество теплоты ($\tau_{воды} > \tau_{масла} \Rightarrow Q_{воды} > Q_{масла}$)

Во-вторых, вспомним, что нагревание определенного количества воды от 20 до 100 °С требует больше времени, чем нагревание того же количества воды от 20 до, например, 50 °С. Следовательно, *чем больше при нагревании изменяется температура тела, тем большее количество теплоты необходимо ему передать.*

В вопросе не указано, о каких жидкостях идет речь, и поэтому ответить, какая из них нагреется быстрее, мы не можем. Ведь необходимое для нагревания количество теплоты зависит от рода вещества. Докажем это.

Возьмем 0,3 кг воды и 0,3 кг подсолнечного масла и нагреем обе жидкости от 20 до 100 °С. Измерив время нагревания, заметим, что масло нагрелось быстрее, а следовательно, получило меньшее количество теплоты, чем вода (рис. 39.1). То есть *количество теплоты, которое необходимо передать телу для определенного изменения его температуры, зависит от рода вещества, из которого состоит это тело.*

Изменяя массу вещества, его род, способы нагревания и охлаждения, учитывая тепловые потери и стараясь свести их к минимуму, ученые доказали, что *количество теплоты, которое поглощает тело при нагревании или выделяет при охлаждении:*

— *пропорционально массе тела ($Q \sim m$);*

— *пропорционально изменению температуры тела ($Q \sim \Delta t$);*

— *зависит от рода вещества, из которого тело состоит (изготовлено).*

Это утверждение можно записать в виде формулы

$$Q = cm\Delta t,$$

где Q — количество теплоты; m — масса вещества; Δt — изменение температуры; c — коэффициент пропорциональности, определяемый родом вещества. В физике этот коэффициент называют *удельной теплоемкостью вещества.*

2 Даем определение удельной теплоемкости вещества

Удельная теплоемкость является характеристикой вещества. Выясним *физическое содержание* удельной теплоемкости. Если масса вещества 1 кг $(m = 1\,\text{кг})$, а изменение температуры при нагревании составило 1 °C $(\Delta t = 1\,°\text{C})$, то из формулы $Q = cm\Delta t$ получаем, что численное значение количества теплоты равно численному значению удельной теплоемкости вещества: $\{Q\} = \{c\}$.

Удельная теплоемкость вещества — это физическая величина, характеризующая вещество и численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать веществу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 °C.

Удельную теплоемкость обозначают символом c и определяют по формуле

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

Из формулы для определения удельной теплоемкости получим ее единицу — **джоуль на килограмм-градус Цельсия** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}\right)$*.

Удельная теплоемкость показывает, на сколько джоулей изменяется внутренняя энергия вещества массой 1 кг *при изменении его температуры на* 1 °C.

3 Сравниваем удельные теплоемкости разных веществ

Удельные теплоемкости разных веществ и материалов могут существенно отличаться. Так, удельная теплоемкость золота $130\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$, и это значит: при нагревании 1 кг золота на 1 °C оно поглощает 130 Дж теплоты, а если 1 кг золота остынет на 1 °C, то при этом выделится 130 Дж теплоты. Удельная теплоемкость подсолнечного масла составляет $1700\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$, то есть при нагревании 1 кг масла на 1 °C оно поглощает 1700 Дж теплоты, а в процессе охлаждения на 1 °C 1 кг масла выделяет 1700 Дж теплоты.

Удельная теплоемкость вещества в разных агрегатных состояниях различна. Так, удельная теплоемкость воды составляет $4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$, льда — $2100\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$; железа в твердом состоянии — $460\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$, расплавленного железа — $830\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$. Значения удельных теплоемкостей веществ определяют опытным путем.

---

* В СИ удельную теплоемкость измеряют в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$; числовые значения удельной теплоемкости, выраженной в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$ и $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$, одинаковы.

В таблицах 1–3 приведены удельные теплоемкости некоторых веществ в разных агрегатных состояниях*.

Таблица 1. Удельная теплоемкость веществ в твердом состоянии

Вещество	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Вещество	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$
Золото	130	Сталь	500
Свинец	140	Чугун	540
Олово	230	Графит	750
Серебро	250	Стекло	840
Медь	400	Кирпич	880
Цинк	400	Алюминий	920
Латунь	400	Лед	2100
Железо	460	Дерево (дуб)	2400

Таблица 2. Удельная теплоемкость веществ в жидком состоянии

Вещество	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Вещество	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$
Ртуть	140	Керосин	2100
Железо	830	Эфир	2350
Алюминий	1080	Спирт	2500
Масло подсолнечное	1700	Вода	4200

Таблица 3. Удельная теплоемкость веществ в газообразном состоянии (при постоянном давлении)

Вещество	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Вещество	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$
Углекислый газ	830	Водяной пар	2200
Кислород	920	Гелий	5210
Воздух	1000	Водород	14 300

* При изменении температуры удельная теплоемкость вещества изменяется даже без изменения его агрегатного состояния. Однако для не очень точных вычислений изменением удельной теплоемкости можно пренебречь. При низких температурах им пренебрегать нельзя.

4 Учимся решать задачи

Задача. При остывании кирпичной печи массой 2 т от 60 до 10 °С выделилось 8,8 МДж теплоты. Пользуясь данными задачи, определите удельную теплоемкость кирпича.

Дано:
$m = 2000$ кг
$t_1 = 60$ °С
$t_2 = 10$ °С
$Q = 8{,}8$ МДж $=$
$= 8\,800\,000$ Дж

c — ?

Анализ физической проблемы

Удельную теплоемкость кирпича можно найти по формуле, определяющей удельную теплоемкость вещества.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

Поскольку $c = \frac{Q}{m\Delta t}$, а $\Delta t = t_1 - t_2$, то получим:

$$c = \frac{Q}{m(t_1 - t_2)}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot(°\text{C} - °\text{C})} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}};$$

$$\{c\} = \frac{8\,800\,000}{2000(60-10)} = 880;\ c = 880\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}.$$

Проанализируем результат: полученное значение удельной теплоемкости совпадает с данными таблицы (см. с. 194), значит, задача решена правильно.

Ответ: удельная теплоемкость кирпича равна $880\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$.

1 Подводим итоги

Опытным путем можно установить, что количество теплоты, поглощаемое телом при нагревании или выделяющееся при его охлаждении, пропорционально массе этого тела, изменению его температуры и зависит от рода вещества, из которого это тело состоит (изготовлено): $Q = cm\Delta t$.

Удельная теплоемкость вещества — физическая величина, характеризующая вещество и численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать веществу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 °С.

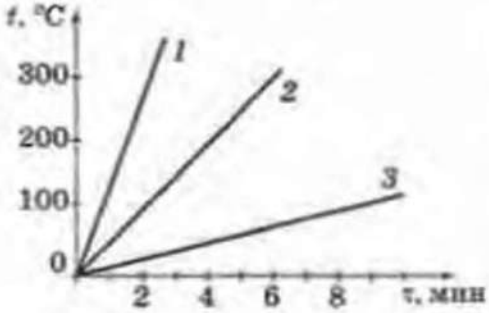
Удельную теплоемкость обозначают символом c и измеряют в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$. Ее можно вычислить по формуле $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ или найти в соответствующих таблицах.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит количество теплоты, необходимое для нагревания тела? 2. По какой формуле вычисляют количество теплоты, переданное телу при нагревании или выделенное им при охлаждении? 3. Каково физическое содержание удельной теплоемкости вещества? 4. Назовите единицу удельной теплоемкости вещества. 5. Как известно, $c = \frac{Q}{m\Delta t}$. Можем ли мы сказать, что удельная теплоемкость зависит от массы вещества? от изменения температуры вещества? от количества переданной теплоты?

Упражнение № 39

1. Удельная теплоемкость серебра $250\ \frac{Дж}{кг \cdot °C}$. Что это означает?
2. Почему в системах охлаждения чаще всего используют воду?
3. Почему возле моря перепады температур меньше, чем в глубине континента?
4. Стальную ложку массой 40 г нагрели в кипятке. Какое количество теплоты пошло на ее нагревание, если температура ложки увеличилась от 20 до 80 °C?
5. Для нагревания на 160 °C детали массой 250 г было передано 20 кДж теплоты. Из какого материала сделана деталь?
6. Подсолнечное масло массой 0,3 кг и воду массой 0,2 кг нагревают от 20 до 100 °C в одинаковых сосудах и с помощью одинаковых нагревателей. Какая жидкость нагреется быстрее?
7. В алюминиевой кастрюле массой 500 г нагрели 1,5 кг воды от 20 °C до кипения. Какое количество теплоты передано кастрюле с водой?
8. Изучая тепловые свойства вещества, исследовали зависимость изменения температуры веществ от времени нагревания. Для этого на одинаковых нагревателях нагревали медное, алюминиевое и золотое тела одинаковой массы. По результатам наблюдений были построены три графика (см. рисунок). Определите, какому веществу соответствует каждый график.



§ 40. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

При изучении механических явлений вы уже познакомились с проявлением закона сохранения энергии. Этот фундаментальный закон выполняется для всех процессов, происходящих в природе, в том числе для процесса теплопередачи. Математическое выражение закона сохранения энергии в процессе теплопередачи — это уравнение теплового баланса. Познакомимся с этим уравнением и научимся применять его для решения задач.

1 Записываем уравнение теплового баланса

Представьте систему тел, которая не получает энергии извне (такую систему называют *изолированной*) и в которой уменьшение или увеличение внутренней энергии тел происходит лишь вслед-

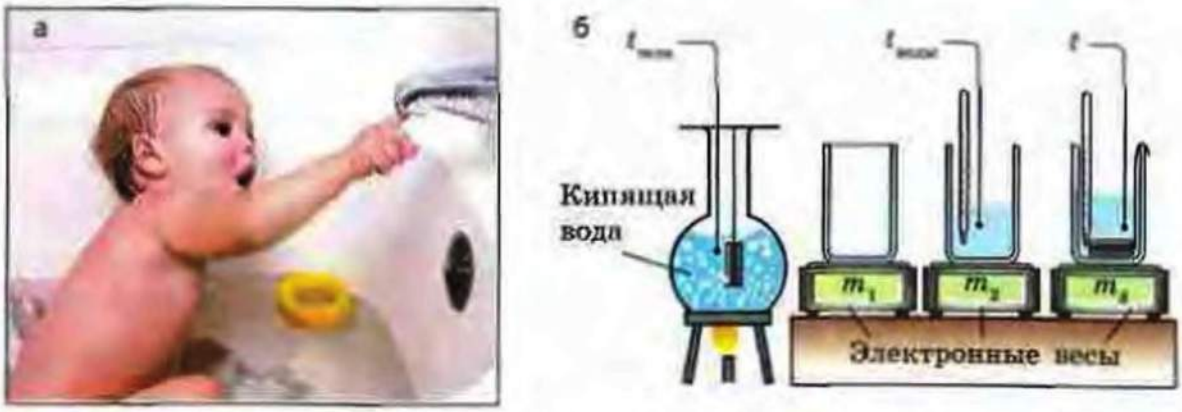


Рис. 40.1. Применение уравнения теплового баланса к решению практических задач: *а* — вычисление количества воды разной температуры, которое нужно добавить в сосуд для получения теплой воды заданной температуры; *б* — определение удельной теплоемкости вещества: $c_{тела} = \frac{c_{воды} m_{воды}(t - t_{воды})}{m_{тела}(t_{тела} - t)}$. При этом $m_{воды} = m_3 - m_1$; $m_{тела} = m_3 - m_2$

ствие теплопередачи между телами системы. В таком случае на основании закона сохранения энергии можно утверждать: сколько теплоты отдадут одни тела системы, столько же теплоты получат другие тела этой системы.

Обозначим Q^+ количество теплоты, полученное каким-либо телом системы, а Q^- — количество теплоты, отданное каким-либо телом этой системы. Тогда закон сохранения энергии для процесса теплопередачи можно записать в виде уравнения, которое называют **уравнением теплового баланса:**

$$Q_1^- + Q_2^- + \ldots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \ldots + Q_n^+ .$$

Формулируется оно так: *если внутренняя энергия тел, составляющих изолированную систему, изменяется только в результате теплопередачи между этими телами, то суммарное количество теплоты, отданное более нагретыми телами системы, равно суммарному количеству теплоты, полученному менее нагретыми телами этой системы.*

Уравнение теплового баланса применяют для решения ряда практических задач (рис. 40.1). Решая задачи на составление уравнения теплового баланса, следует помнить: если процесс теплообмена будет длиться достаточно долго, то в конце концов установится состояние теплового равновесия, то есть температура всех тел системы станет одинаковой.

2 **Учимся решать задачи**

Задача. В воду массой 400 г, взятую при температуре 20 °С, добавили 100 г горячей воды, имеющей температуру 70 °С. Какой будет конечная температура воды? Считайте, что теплообмен с окружающей средой не происходит.

Дано:
$m_1 = 400$ г $= 0{,}4$ кг
$t_1 = 20$ °C
$m_2 = 100$ г $= 0{,}1$ кг
$t_2 = 70$ °C

t — ?

Анализ физической проблемы

В теплообмене принимают участие два тела: отдает энергию горячая вода, получает — холодная. По условию теплообмен с окружающей средой не происходит, поэтому можно воспользоваться уравнением теплового баланса.

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

Количество теплоты, отданное горячей водой:

$$Q_1 = cm_1(t - t_1). \quad (1)$$

Количество теплоты, полученное холодной водой:

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t). \quad (2)$$

Согласно уравнению теплового баланса

$$Q_1 = Q_2. \quad (3)$$

Подставив уравнение (1) и (2) в уравнение (3), получим:

$$cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t) \Rightarrow m_1(t - t_1) = m_2(t_2 - t).$$

Выполним необходимые преобразования:

$$m_1 t - m_1 t_1 = m_2 t_2 - m_2 t.$$

Отсюда

$$m_1 t + m_2 t = m_2 t_2 + m_1 t_1 \Rightarrow t(m_1 + m_2) = m_2 t_2 + m_1 t_1.$$

Окончательно получаем: $t = \dfrac{m_2 t_2 + m_1 t_1}{m_1 + m_2}$.

Определим значение искомой величины:

$$[t] = \frac{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C} + \text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}}{\text{кг}} = {}^\circ\text{C};$$

$$\{t\} = \frac{0{,}4\cdot 20 + 0{,}1\cdot 70}{0{,}4 + 0{,}1} = 30; \quad t = 30\,^\circ\text{C}.$$

Проанализируем результат: полученное значение конечной температуры воды (30 °C) вполне реально, поскольку оно больше 20 °C и меньше 70 °C.

Ответ: конечная температура воды будет равна 30 °C.

Подводим итоги

Для любых процессов, происходящих в природе, выполняется закон сохранения энергии. Для изолированной системы, в которой внутренняя энергия тел изменяется только вследствие теплопередачи между телами этой системы, закон сохранения энергии можно сформулировать так: суммарное количество теплоты, отданное одними телами системы, равно суммарному количеству теплоты, полученному другими телами этой системы.

Математическим выражением закона сохранения энергии в процессе теплопередачи является уравнения теплового баланса:

$$Q_1^- + Q_2^- + \ldots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \ldots + Q_n^+ .$$

Контрольные вопросы

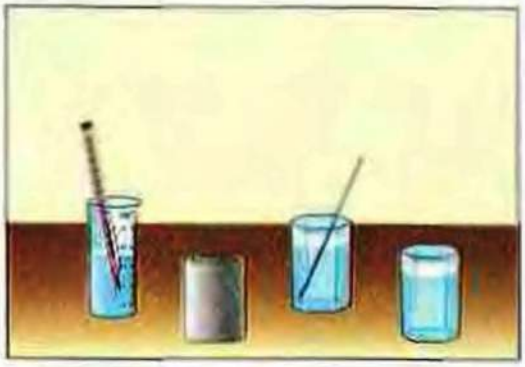
1. Какая система называется изолированной? 2. Сформулируйте общее правило, по которому происходит теплопередача между телами, составляющими замкнутую систему.

Упражнение № 40

При решении задач теплообмен с окружающей средой не учитывайте.

1. В кастрюлю налили 2 кг воды, нагретой до температуры 40 °С, а потом добавили 4 кг воды при 85 °С. Определите температуру смеси.
2. В ванную налили 80 л воды при температуре 10 °С. Сколько литров воды при 100 °С нужно добавить, чтобы температура воды в ванной стала 25 °С?
3. В латунный калориметр массой 200 г налили 400 г воды при температуре 20 °С и опустили 800 г серебра, имеющего температуру 69 °С. Вода нагрелась до 25 °С. Определите удельную теплоемкость серебра.
4. Используя рис. 40.1, *б*, составьте план проведения эксперимента по определению удельной теплоемкости вещества.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12



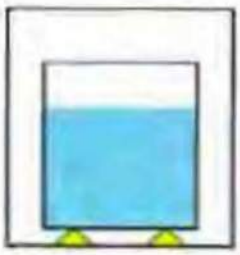
Тема. Изучение теплового баланса при смешивании воды разной температуры.

Цель: ознакомиться со строением и принципом действия калориметра; определить количество теплоты, отданное горячей водой, и количество теплоты, полученное холодной водой, в результате смешивания воды разной температуры, сравнить результаты.

Оборудование: мерный цилиндр, термометр, калориметр, стакан с холодной водой, стакан с горячей водой, бумажные салфетки, мешалка.

Теоретические сведения

Во многих опытах по изучению тепловых явлений применяют *калориметр* — устройство, состоящее из двух сосудов (стаканов), размещенных один в другом и разделенных воздушной прослойкой (см. рисунок справа). Из-за слабой теплопроводности воздуха и благодаря небольшому расстоянию между внутренним и внешним сосудами, что обеспечивает отсутствие конвекционных потоков, в калориметре теплообмен с окружающей средой значительно уменьшается.



УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.
2. Вспомните правила безопасности при работе с мерным цилиндром, термометром, горячей водой.

Эксперимент

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

1. Ознакомьтесь со строением калориметра.
2. Налейте в мерный цилиндр 60–80 мл холодной воды. Определите ее объем (V_1) и измерьте ее температуру (t_1).
3. Налейте в калориметр горячей воды (1/3 внутреннего сосуда калориметра) и измерьте ее температуру (t_2).
4. Не вынимая термометра, вылейте в калориметр холодную воду из мерного цилиндра и, осторожно перемешивая смесь мешалкой, следите за показаниями термометра. Как только изменение температуры станет незаметным, измерьте температуру смеси (t).
5. Осторожно выньте термометр из воды, протрите салфеткой и спрячьте в футляр.
6. Перелейте всю воду из калориметра в мерный цилиндр, измерьте общий объем V воды.

Обработка результатов эксперимента

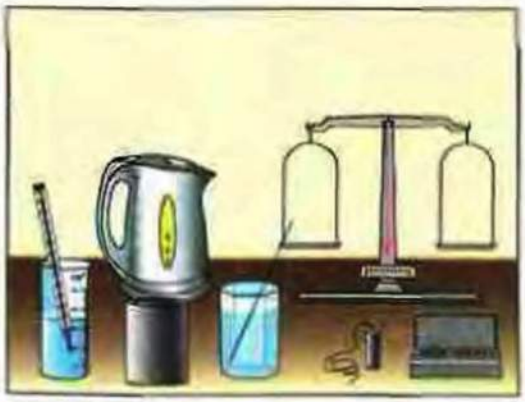
1. Определите массу холодной воды: $m_1 = \rho_{воды} V_1$. По формуле $Q_1 = c_{воды} m_1 (t - t_1)$ вычислите количество теплоты, полученное холодной водой.
2. Определите объем V_2 и массу m_2 горячей воды: $V_2 = V - V_1$, $m_2 = \rho_{воды} V_2$. По формуле $Q_2 = c_{воды} m_2 (t_2 - t)$ вычислите количество теплоты, отданное горячей водой.
3. Завершите заполнение таблицы.

Температура, °C			Объем воды, мл			Масса, кг		Количество теплоты, Дж	
t_1	t_2	t	V_1	V_2	V	m_1	m_2	Q_1	Q_2

Анализ результатов эксперимента

Сравните количество теплоты, отданное горячей водой, с количеством теплоты, полученным холодной водой. Сделайте вывод, в котором укажите причину возможного расхождения результатов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13



Тема. Определение удельной теплоемкости вещества.

Цель: определить удельную теплоемкость вещества в твердом состоянии.

Оборудование: мерный цилиндр, весы с разновесами, термометр, калориметр, металлический цилиндр с нитью, стакан с водой, электрический чайник с водой (один на класс), бумажные салфетки, мешалка.

Теоретические сведения

Для определения удельной теплоемкости вещества в твердом состоянии можно воспользоваться таким методом. Тело нагревают в кипятке (в воде при 100 °С), а потом опускают в калориметр с холодной водой (см. рис. 40.1, *б*). Происходит теплообмен, в котором принимают участие четыре тела: отдает энергию твердое тело, получают — вода, калориметр, термометр. Поскольку термометр и калориметр по сравнению с водой получают незначительное количество теплоты, можно считать, что количество теплоты, отданное твердым телом, равно количеству теплоты, полученному холодной водой: $Q_{тела} = Q_{воды}$. Итак, $c_{тела} m_{тела} (t_{тела} - t) = c_{воды} m_{воды} (t - t_{воды})$, отсюда

$$c_{тела} = \frac{c_{воды} m_{воды} (t - t_{воды})}{m_{тела} (t_{тела} - t)},$$

где $c_{тела}$, $c_{воды}$ — удельные теплоемкости вещества, из которого состоит тело, и воды; $m_{тела}$, $m_{воды}$ — массы тела и воды; $t_{тела}$ и $t_{воды}$ — температуры тела и воды в начале опыта, t — температура тела и воды после установления теплового равновесия.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.
2. Вспомните правила безопасности при работе с мерным цилиндром, термометром, горячей водой.

Эксперимент

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

1. С помощью мерного цилиндра налейте в калориметр 100–150 мл воды. Измерьте объем воды ($V_{воды}$).
2. Измерьте температуру воды в калориметре ($t_{воды}$).

3. Выньте термометр из воды, положите его на салфетку. Подойдите с калориметром к учителю, который из чайника с кипящей водой достанет за нить металлический цилиндр и положит его в ваш калориметр.
4. Снова поместите термометр в калориметр и, слегка перемешивая воду мешалкой, следите за повышением температуры. Как только изменение температуры станет незаметным (то есть установится тепловое равновесие), запишите показание термометра (t).
5. Выньте термометр из воды, осушите его бумажной салфеткой и положите в футляр.
6. Выньте металлический цилиндр из воды, осушите его бумажной салфеткой и взвесьте.

Обработка результатов эксперимента

1. Определите массу воды в калориметре $\left(m_{воды} = \rho_{воды} V_{воды}\right)$.
2. Воспользовавшись формулой

$$c_{тела} = \frac{c_{воды} m_{воды} \left(t - t_{воды}\right)}{m_{тела} \left(t_{тела} - t\right)},$$

вычислите удельную теплоемкость металла, из которого изготовлен цилиндр ($c_{тела}$).
3. Результаты вычислений занесите в таблицу.

Начальная температура воды $t_{воды}$, °C	Конечная температура воды t, °C	Объем воды $V_{воды}$, м³	Масса воды $m_{воды}$, кг	Удельная теплоемкость воды $c_{воды}$, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Начальная температура тела $t_{тела}$, °C	Конечная температура тела t, °C	Масса тела $m_{тела}$, кг	Удельная теплоемкость тела $c_{тела}$, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$

Анализ результатов эксперимента

Воспользовавшись таблицей удельных теплоемкостей веществ в твердом состоянии (см. с. 194), определите вещество, из которого изготовлен цилиндр. Сделайте вывод, в котором укажите, какую величину вы сегодня определяли, какой результат получили, какие факторы повлияли на точность полученного результата.

Творческое задание

Предложите способ определения удельной теплоемкости жидкости. Составьте план эксперимента.

§ 41. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ НАГРЕВАТЕЛЯ

?! Возьмите коробок со спичками, достаньте одну спичку. Перед вами — два холодных твердых тела (рис. 41.1). Но если потереть головку спички о коробок, то спичка вспыхнет. Откуда берется эта энергия? Благодаря выполненной работе? Однако, если долго и с усилием тереть о коробок спичку другим концом, столько тепла не выделится. Если зажженную спичку поднести к включенной газовой горелке, то мгновенно начнет выделяться достаточно большая энергия. Откуда появилась эта энергия в газе? Ответы на поставленные вопросы вы найдете в этом параграфе.

1 Знакомимся с разными видами топлива

В жизни нам часто требуется увеличить температуру какого-то тела. Так, чтобы в комнате стало теплее, нужно увеличить температуру воды в батареях отопления, чтобы приготовить пищу — температуру воздуха в духовке. Издавна человечество для увеличения температуры использовало энергию, выделяющуюся во время химической реакции *горения топлива*.

Из курса химии вы уже знаете, что *реакция горения*,— а чаще всего это реакция взаимодействия углерода или водорода с кислородом (рис. 41.2),— *экзотермическая реакция*, то есть происходящая с выделением тепла.

Топливом могут служить как природные вещества (каменный уголь, нефть, торф, дрова, природный газ) (рис. 41.3), так и специально полученные человеком (керосин,

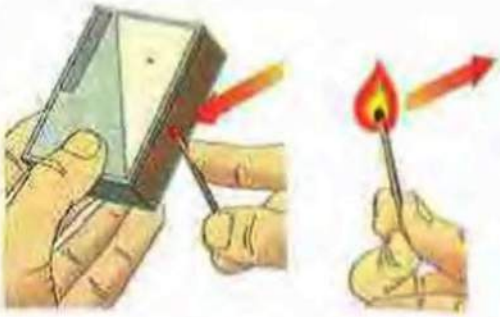


Рис. 41.1. Незажженная спичка и коробок — два холодных твердых тела. Но достаточно потереть спичку о коробок — и спичка вспыхнет

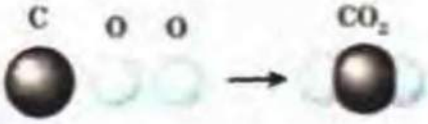


Рис. 41.2. Реакция окисления углерода сопровождается выделением тепла: $C + O_2 = CO_2 + Q$

Рис. 41.3. Дрова — распространенное твердое природное топливо

Рис. 41.4. Керосин, бензин, дизельное топливо — это жидкое топливо, полученное человеком

Рис. 41.5. Для современной цивилизации топливо является необходимым условием существования

бензин, порох, древесный уголь, этиловый спирт и т. п.) (рис. 41.4). Очевидно, что топливо бывает *твердым* (каменный уголь, торф, дрова, сухой спирт), *жидким* (нефть, керосин, бензин, дизельное топливо) и *газообразным* (природный газ, пропан, бутан).

Для современной цивилизации топливо — необходимое условие существования. Для работы транспорта, различных механизмов в промышленности и сельском хозяйстве, обогрева жилья и приготовления пищи человек использует энергию топлива (рис. 41.5).

2 Вводим понятие удельной теплоты сгорания топлива

Разные виды топлива отличаются друг от друга теплотворной способностью. Убедимся в этом с помощью простого опыта. Поставим на левую чашку весов спиртовку, наполненную спиртом. Над спиртовкой подвесим металлическую банку с водой, предварительно измерив температуру и объем воды. После уравновешивания весов на левую чашку положим гирю массой 1 г. Равновесие весов нарушится (рис. 41.6, *а*). Зажжем спиртовку. По мере сгорания спирта масса спиртовки со спиртом будет уменьшаться, и через некоторое время равновесие весов восстановится (это означает, что сгорел 1 г спирта) (рис. 41.6, *б*). В этот момент погасим спиртовку, после чего измерим и зафиксируем температуру воды. Повторим опыт,

наполнив спиртовку керосином, и убедимся, что в этом случае вода нагреется больше. Это значит, что при сгорании 1 г керосина выделилось больше энергии, чем при сгорании 1 г спирта.

Для количественной характеристики теплотворной способности топлива применяют физическую величину, которая называется *удельная теплота сгорания топлива*.

Удельная теплота сгорания топлива — это физическая величина, которая характеризует определенный вид топлива и численно равна количеству теплоты, выделяющемуся в процессе полного сгорания 1 кг топлива.

Удельную теплоту сгорания топлива обозначают символом q и вычисляют по формуле

$$q = \frac{Q}{m},$$

где Q — количество теплоты, которое выделяется в ходе полного сгорания топлива массой m.

Из формулы для определения удельной теплоты сгорания топлива получим единицу этой величины в СИ — **джоуль на килограмм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

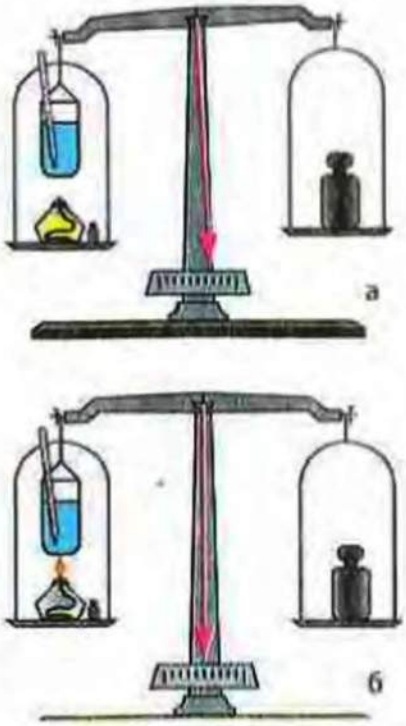


Рис. 41.6. Опыт, демонстрирующий качественное отличие разных видов топлива

Удельную теплоту сгорания разных видов топлива определяют в лабораторных условиях и заносят в таблицы.

Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива

Топливо	q, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Топливо	q, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Порох	4	Древесный уголь	34
Дрова сухие	10	Дизельное топливо	42
Бурый уголь	12	Природный газ	44
Солома	14	Нефть	44
Торф	15	Бензин	46
Тротил	15	Керосин	46
Каменный уголь	27	Пропан	46
Спирт	27	Ацетилен	50
Антрацит	30	Водород	120

Рис. 41.7. Различные нагревательные устройства, используемые человеком: примус *(а)*; газовая плита *(б)*; паяльная лампа *(в)*; газовый котел *(г)*

Зная удельную теплоту сгорания и массу топлива, легко вычислить количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании этого топлива: поскольку $q = \frac{Q}{m}$, то

$$Q = qm$$

3 Вычисляем коэффициент полезного действия нагревателя

Для сжигания топлива используют разные нагреватели, отличающиеся видом используемого топлива и назначением: печи и камины, газовые горелки и спиртовки, примусы, паяльные лампы и др. (рис. 41.7).

Например, если нужно отапливать помещение, а топливом является газ, то целесообразно приобрести газовый котел (см. рис. 41.7, *г*); для физических опытов, во время которых топливом будет спирт, в качестве нагревателя выбирают спиртовку. Однако даже с помощью самых современных нагревателей *невозможно полностью использовать всю энергию*, «накопленную» в топливе. Во-первых, ни одно топливо не может в реальных условиях сгореть полностью. Во-вторых, некоторая часть энергии тратится «бесполезно» (например, уносится с продуктами сгорания, уходит на нагревание окружающей среды).

Коэффициент полезного действия нагревателя — *это физическая* величина, характеризующая эффективность нагревателя и равная отношению полезно использованной теплоты ко всей теплоте, которая может быть выделена в процессе полного сгорания топлива.

Математически это записывают так:

$$\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}},$$

где η — коэффициент полезного действия (КПД) нагревателя; $Q_{полезн}$ — полезно использованная теплота; $Q_{полн}$ — вся теплота, которая может быть выделена в процессе полного сгорания топлива.

Обычно КПД выражают в процентах:

$$\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}} \cdot 100\,\%$$

4 **Учимся решать задачи**

Задача. Туристы остановились на привал возле ручья и решили приготовить чай. Какое количество дров им надо заготовить, чтобы вскипятить 10 кг воды? Вода получает 15 % энергии, выделяющейся при полном сгорании дров. Температура воды в ручье 15 °С.

Дано:

$m_{воды} = 10$ кг

$\eta = 15\,\% = 0{,}15$

$t_1 = 15$ °С

$t_2 = 100$ °С

$c_{воды} = 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot °С}$

$q_{дров} = 1 \cdot 10^7\ \frac{Дж}{кг}$

$m_{дров}$ — ?

Анализ физической проблемы, поиск математической модели, решение и анализ результатов

Для решения задачи воспользуемся формулой для вычисления КПД нагревателя:

$$\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}}. \qquad (1)$$

Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании дров:

$$Q_{полн} = q_{дров} m_{дров}. \qquad (2)$$

Количество теплоты, которую необходимо израсходовать на нагревание воды:

$$Q_{полезн} = c_{воды} m_{воды} (t_2 - t_1). \qquad (3)$$

Подставив формулы (3) и (2) в формулу (1), получим:

$$\eta = \frac{c_{воды} m_{воды} (t_2 - t_1)}{q_{дров} m_{дров}} \Rightarrow \eta q_{дров} m_{дров} = c_{воды} m_{воды} (t_2 - t_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{дров} = \frac{c_{воды} m_{воды} (t_2 - t_1)}{\eta q_{дров}}.$$

При нормальном атмосферном давлении вода кипит при температуре 100 °С. Удельную теплоемкость воды и удельную теплоту сгорания дров найдем в таблицах (см. с. 194, 205).

Определим значение искомой величины:

$$[m] = \left(\frac{Дж}{кг \cdot °С} \cdot кг \cdot °С\right) : \frac{Дж}{кг} = \frac{Дж \cdot кг}{Дж} = кг;$$

$$\{m\} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot (10 - 15)}{0{,}15 \cdot 10^7} = 2{,}38;\ m = 2{,}38\ кг.$$

Проанализируем результат. Чтобы нагреть воду, туристам нужно 2,38 кг сухих дров. Для сухих дров результат вполне реален.

Ответ: необходимо заготовить 2,38 кг дров.

Подводим итоги

Химическая реакция горения топлива — экзотермическая, то есть происходит с выделением теплоты.

Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива, вычисляют по формуле $Q = qm$, где q — удельная теплота сгорания топлива; m — масса сгоревшего топлива.

Удельная теплота сгорания топлива равна количеству теплоты, выделяющемуся в процессе полного сгорания 1 кг топлива. Эта физическая величина является характеристикой теплотворной способности топлива и измеряется в джоулях на килограмм $\left(\frac{Дж}{кг}\right)$.

Сгорание топлива обычно происходит в нагревателях. КПД нагревателя вычисляют по формуле $\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}}$, или в процентах: $\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}} \cdot 100\,\%$.

Контрольные вопросы

1. Какие виды топлива вы знаете? 2. Опишите опыт, подтверждающий, что при горении разных видов топлива выделяется разное количество теплоты. 3. Каков физический смысл удельной теплоты сгорания топлива? В каких единицах ее измеряют? 4. Как вычислить количество теплоты, выделяющееся в процессе полного сгорания топлива? 5. *Сформулируйте определение КПД нагревателя.*

Упражнение № 41

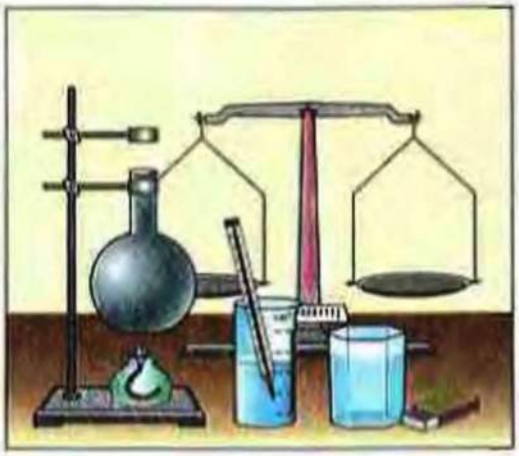
1. Удельная теплота сгорания дров $q = 10$ МДж/кг. Что это значит?
2. Удельная теплота сгорания пороха намного меньше удельной теплоты сгорания дров. Почему же горящая спичка в руках — это достаточно безопасно, а если вспыхивает такая же масса пороха, то можно серьезно пострадать?
3. Сколько теплоты выделится при полном сгорании каменного угля массой 10 кг?
4. В процессе полного сгорания керосина выделилось 92 кДж теплоты. Какова масса сгоревшего керосина?
5. На спиртовке нагрели 300 г воды от 15 до 75 °С. Определите КПД нагревателя, если на нагревание израсходовано 8 г спирта.
6. В чайник налили 2 кг воды при температуре 20 °С. Сколько нужно природного газа, чтобы вскипятить чайник, если вода получает 40 % тепла, которое может быть выделено при полном сгорании газа?

ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Научно-технологический комплекс (НТК) **«Институт монокристаллов»** НАН Украины (Харьков) начал свою историю в 1955 г. Сегодня в состав НТК входят несколько научных институтов и завод химических реактивов. В сфере научных интересов ученых комплекса — фундаментальные исследования процессов роста кристаллов и взаимодействия излучения с веществом; разработка технологий получения различных детекторов и создание приборов на их основе. В последнее время большое внимание уделяется разработке тест-систем для диагностики болезней человека и животных (ВИЧ/СПИД, вирусные гепатиты В и С и т. п.).

НТК «Институт монокристаллов» имеет тесные творческие связи со многими ведущими научными центрами и университетами России, Беларуси, Израиля, Китая, Индии, Японии, США и стран Западной Европы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14



Тема. Определение коэффициента полезного действия нагревателя.

Цель: измерить КПД устройства, в котором нагревателем является спиртовка (или сухой спирт); убедиться на опыте, что КПД нагревателя меньше 100 %.

Оборудование: весы, гири, мерный цилиндр, термометр, стакан с водой, круглодонная колба, спиртовка со спиртом (или сухой спирт), спички.

Теоретические сведения

По определению КПД нагревателя: $\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}} \cdot 100\,\%$,

где $Q_{полезн} = c_{воды} m_{воды} (t_2 - t_1)$ — количество теплоты, полученное водой при нагревании; $Q_{полн} = m_{спирта} q_{спирта}$ — *количество теплоты, выделяющееся при сгорании спирта.*

Здесь $m_{воды}$ — масса воды; $c_{воды}$ — удельная теплоемкость воды; t_1 — температура воды в начале нагревания; t_2 — температура воды в конце нагревания; $m_{спирта}$ — масса сгоревшего спирта, $q_{спирта}$ — удельная теплота сгорания спирта.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Подготовка к эксперименту

1. Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.
2. Вспомните правила безопасности при работе с мерным цилиндром, термометром, горячей водой, спиртовкой.
3. Прочитав теоретические сведения, подумайте, значение каких физических величин вам необходимо выяснить путем измерений и вычислений, а значение каких можно найти в таблицах (найдите их).
4. Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке, приведенном в начале работы.

Эксперимент

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

1. Налейте из стакана в мерный цилиндр 80–100 см³ воды. Определите объем воды ($V_{воды}$).

2. Перелейте воду в колбу. Измерьте температуру t_1 воды в колбе.
3. Определите с помощью весов массу m_1 спиртовки со спиртом (или массу резервуара с сухим спиртом).
4. Поставьте спиртовку под колбу с водой и зажгите ее.
5. Пока вода в колбе будет нагреваться, следите за показаниями термометра. Когда вода нагреется до 70–80 °С, погасите пламя (накройте спиртовку или сухой спирт колпачком). Измерьте температуру t_2 воды в колбе.
6. Повторно измерьте массу спиртовки со спиртом (m_2).

Обработка результатов эксперимента

1. Вычислите:
   1) массу воды: $m_{воды} = \rho_{воды} V_{воды}$;
   2) массу сгоревшего спирта: $m_{спирта} = m_1 - m_2$;
   3) количество теплоты, полученное водой при нагревании: $Q_{полезн} = c_{воды}\, m_{воды}(t_2 - t_1)$;
   4) количество теплоты, выделившееся при сгорании спирта: $Q_{полн} = m_{спирта}\, q_{спирта}$;
2. Определите КПД нагревателя: $\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}}$.
3. Закончите заполнение таблицы.

Вода					Спирт				КПД
t_1, °С	t_2, °С	$V_{воды}$, м³	$m_{воды}$, кг	$Q_{полезн}$, Дж	m_1, кг	m_2, кг	$m_{спирта}$, кг	$Q_{полн}$, Дж	η, %

Анализ результатов эксперимента

Проанализируйте ход эксперимента и его результаты. Сделайте вывод, в котором укажите, какую физическую величину вы сегодня измеряли, какой результат получили, где вам могут пригодиться приобретенные навыки.

Дополнительное задание

Предложите план эксперимента по определению КПД электрического чайника. Мощность чайника указана в его паспорте.

§ 42. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. КПД ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

?! Взрослый человек может за сутки выполнить работу, приблизительно равную 1 млн Дж. Среднесуточное потребление энергии жителем Земли в сотни раз больше. Из всей энергии, потребляемой человеком, около 90% — энергия топлива. При этом на обогрев помещений и приготовление пищи идет только незначительная часть этой энергии — преимущественно человек использует энергию топлива, превращая ее в механическую. Как это происходит и при каких условиях возможно такое превращение?

1 Знакомимся с принципом действия тепловых двигателей

Проведем простой опыт. Плотно закупорим носик чайника и поставим чайник с водой на горелку газовой плиты. Спустя некоторое время крышка чайника начнет подпрыгивать. Выясним почему.

Вода в чайнике начинает закипать, давление пара под крышкой увеличивается. В результате наступает момент, когда сила давления пара становится больше силы тяжести, действующей на крышку,— крышка подпрыгивает. В этот момент часть пара выходит наружу, сила давления пара на крышку уменьшается и сила тяжести возвращает крышку на место (рис. 42.1). Если нагревание продолжить, то *процесс повторится*.

Рис. 42.1. На крышку чайника действуют сила тяжести ($F_{тяж} = mg$) и сила давления пара. Если $F_{давл.\ пара} > F_{тяж}$, крышка подпрыгивает; если $F_{давл.\ пара} < F_{тяж}$, крышка возвращается на место

Следовательно, в описанной системе, состоящей из газовой горелки, чайника с крышкой и кипящей воды, за счет *энергии, выделяющейся при сгорании топлива, совершается механическая работа, при этом часть энергии отдается окружающей среде*.

Если с крышкой чайника соединить какой-либо механизм, то получим простейшую модель *теплового двигателя*.

Тепловой двигатель — это циклично работающая машина, которая превращает энергию топлива в механическую работу.

На примере с чайником выясним, из каких основных частей должна состоять тепловая машина.*

* Кроме тепловых двигателей существуют другие виды тепловых машин. Подробнее об этом вы узнаете в старших классах.

Рис. 42.2. Принцип работы тепловых машин: рабочее тело получает определенное количество теплоты (Q_1) от нагревателя, эта теплота частично превращается в механическую энергию (рабочее тело выполняет работу A), а частично (Q_2) передается холодильнику

Во-первых, в данной системе механическую работу выполняет пар, который, расширяясь, поднимает крышку. Газ, совершающий механическую работу в процессе своего расширения, называют *рабочим телом*.

Во-вторых, пар под крышкой чайника расширяется в результате повышения его давления при нагревании чайника на газовой горелке. Устройство, от которого рабочее тело получает определенное количество теплоты, называют *нагревателем*.

В-третьих, во время опыта водяной пар периодически отдает часть энергии окружающей среде (иначе двигатель не смог бы работать циклично: крышка не возвращалась бы в исходное положение и процесс не повторялся бы). Объект, которому рабочее тело отдает определенное количество теплоты, называют *холодильником*.

Любая тепловая машина имеет нагреватель, рабочее тело, холодильник (рис. 42.2).

2 Определяем КПД теплового двигателя

В любом тепловом двигателе на выполнение работы тратится только часть энергии, выделяемой топливом. Некоторое количество энергии передается окружающей среде (утрачивается). Потери энергии в тепловых двигателях не ограничиваются *тепловыми потерями*: еще часть энергии тратится на совершение работы по преодолению сил трения частей и механизмов двигателя. Такие потери энергии называют *механическими*.

Таким образом, чем меньше тепловые и механические потери в двигателе, тем меньше топлива нужно сжечь*, чтобы совершить одну и ту же полезную работу, и тем экономичнее двигатель.

Коэффициент полезного действия двигателя — это физическая величина, которая характеризует экономичность теплового двигателя и показывает, какая часть всей энергии, выделившейся в процессе полного сгорания топлива, превращается в полезную работу.

Коэффициент полезного действия двигателя (η) вычисляют по формуле:

$$\eta = \frac{A_{полезная}}{Q_{топлива}}, \quad \text{или в процентах:} \quad \eta = \frac{A_{полезная}}{Q_{топлива}} 100\,\%.$$

* При использовании ядерного топлива энергия выделяется в процессе ядерных реакций (подробнее вы узнаете об этом в старших классах).

где $A_{полезн}$ — полезная работа; $Q_{полн}$ — количество теплоты, выделяющееся в процессе полного сгорания топлива.

Поскольку полезная работа всегда меньше количества теплоты, выделяющегося в процессе полного сгорания топлива, то очевидно, что КПД теплового двигателя всегда меньше 1 (100 %). Обычно КПД тепловых двигателей составляет 20–40 %.

Подводим итоги

Тепловым двигателем называют циклично работающую машину, превращающую энергию топлива в механическую работу.

Любая тепловая машина имеет нагреватель, рабочее тело, холодильник.

Принцип действия тепловых машин: рабочее тело получает определенное количество теплоты от нагревателя; часть этой теплоты превращается в механическую энергию (рабочее тело выполняет работу), а часть отдается холодильнику.

Коэффициент полезного действия η двигателя — это физическая величина, которая характеризует экономичность теплового двигателя и показывает, какая часть всей энергии $Q_{полн}$, выделившейся в процессе полного сгорания топлива, превращается в полезную работу $A_{полезн}$. КПД теплового двигателя вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{A_{полезн}}{Q_{полн}} \quad (\text{или } \eta = \frac{A_{полезн}}{Q_{полн}} \cdot 100\,\%).$$

Контрольные вопросы

1. Что называют тепловым двигателем? 2. Перечислите основные части теплового двигателя. В чем заключается принцип его действия 3. Назовите основные виды потерь энергии в тепловых двигателях. 4. Что называют КПД теплового двигателя? 5. Почему КПД теплового двигателя всегда меньше 100 %?

Упражнение № 42

1. При работе теплового двигателя использовано 0,5 кг дизельного топлива. При этом двигатель совершил полезную работу, равную 7 МДж. Вычислите КПД двигателя.
2. В процессе работы теплового двигателя сгорело 10 л бензина. Какую полезную работу совершил тепловой двигатель, если его КПД 20 %?
3. Какую среднюю мощность развивает двигатель мотоцикла, если при скорости движения 90 км/ч затраты бензина составляют 4 кг на 100 км пути? КПД двигателя 25 %.

Экспериментальное задание

Возьмите стеклянную бутылку, ополосните ее водой и закупорьте бутылку картофелиной (осторожно вдавите горлышко бутылки в картофелину и уберите остатки картофелины). Поставьте закупоренную бутылку в кастрюлю с водой и начните нагревать воду. Спустя некоторое время «пробка» вылетит (см. рисунок). Объясните это явление.

2 Узнаем о построении двигателя внутреннего сгорания

Одним из наиболее распространенных видов тепловых двигателей, используемых в транспортных средствах, является *двигатель внутреннего сгорания*, сконструированный немецким изобретателем *Николаусом Отто* (рис. 43.4).

При работе двигателя внутреннего сгорания *топливо сгорает непосредственно внутри* его цилиндров, отсюда и название двигателя. Двигатели внутреннего сгорания работают на газе или жидком топливе.

Рис. 43.4. Николаус Август Отто (1832–1891), немецкий конструктор и предприниматель, создатель четырехтактного двигателя внутреннего сгорания с электрическим зажиганием

Двигатель внутреннего сгорания (рис. 43.5) состоит из *цилиндра (1)*, в котором перемещается *поршень (2)*. Внутри поршня шарнирно закреплен *шатун (3)*. Шатун, в свою очередь, соединен с *коленчатым валом (4)*, вращение которого обеспечивает вращение тяговых колес транспортного средства.

В верхней части цилиндра расположены *два канала, закрытых клапанами (5)*. *Горючая смесь* (смесь воздуха с топливом) через *впускной клапан* поступает в цилиндр; через *выпускной клапан* выбрасываются отработанные газы. Кроме клапанов, в верхней части цилиндра некоторых двигателей имеется *свеча (6)* — устройство, в котором с помощью электрической искры поджигается горючая смесь.

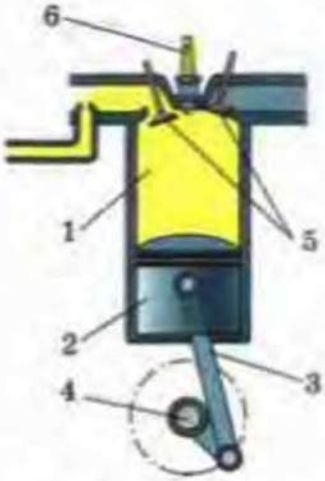


Рис. 43.5. Схема построения простейшего двигателя внутреннего сгорания:
1 — цилиндр;
2 — поршень;
3 — шатун;
4 — коленчатый вал;
5 — клапаны;
6 — свеча

3 Наблюдаем за работой четырехтактного двигателя внутреннего сгорания

Рабочий цикл четырехтактного двигателя состоит соответственно из четырех тактов (рис. 43.6).

I такт — *всасывание*. Поршень движется вниз (рис. 43.6, *а*), в цилиндре падает давление. В это время приоткрывается впускной клапан и горючая смесь всасывается в цилиндр. В конце I такта впускной клапан закрывается.

II такт — *сжатие*. Поршень движется вверх (рис. 43.6, *б*) и сжимает горючую смесь. Когда поршень достигает крайнего верхнего положения, проскакивает искра и горючая смесь воспламеняется.

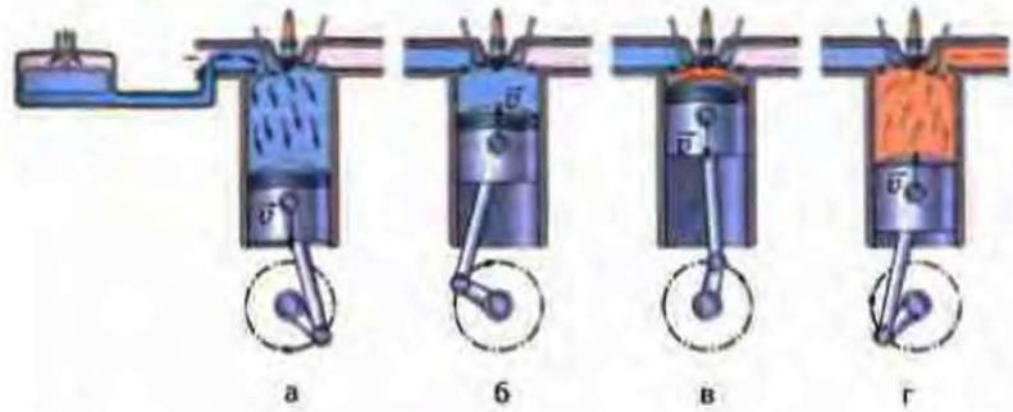


Рис. 43.6. Работа четырехтактного двигателя внутреннего сгорания: *а* — всасывание; *б* — сжатие; *в* — рабочий ход; *г* — выпуск

Рис. 43.7. Современный 8-цилиндровый двигатель внутреннего сгорания

III такт — *рабочий* ход. Раскаленные газы толкают поршень вниз (рис. 43.6, *в*). Движение поршня передается шатуну, который толкает коленчатый вал и заставляет его вращаться,— двигатель выполняет *полезную работу*. В конце III такта приоткрывается выпускной клапан.

IV такт — *выпуск*. Поршень движется вверх (рис. 43.6, *г*) и через выпускную трубу выталкивает продукты сгорания в атмосферу. В конце IV такта выпускной клапан закрывается. Выпуск отработанных газов сопровождается *передачей некоторого количества теплоты окружающей среде*.

Как и в любом тепловом двигателе, в двигателе внутреннего сгорания есть *нагреватель* (горючая воздушная смесь), *рабочее тело* (раскаленные газы), холодильник (окружающая среда).

За цикл газы толкают поршень только один раз, поэтому для равномерной работы двигателей чаще всего ставят четыре цилиндра. Их устанавливают на коленчатом валу таким образом, что во время каждого такта работает один из цилиндров. Есть двигатели, имеющие 6, 8 и более цилиндров (рис. 43.7).

Рис. 43.8. Рудольф Дизель (1858–1913), немецкий инженер, создатель двигателя внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия

В последнее время все чаще применяют дизельные двигатели, названные так в честь немецкого инженера Рудольфа Дизеля (рис. 43.8). Эти двигатели, в частности, не имеют свечей зажигания, их КПД более высок. У двигателей, описанных выше, КПД составляет 20–25 %, у дизельных — 40 %.

4 Размышляем о плюсах и минусах использования тепловых двигателей

Работа описанных выше тепловых двигателей основана на преобразовании тепловой энергии, возникающей преимущественно в ходе двух химических реакций:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q\,;\ 2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + Q\,.$$

Казалось бы, тепловые машины практически совершенны: продукты химических реакций — «обычные» соединения (углекислый газ входит в состав воздуха, вода находится повсюду вокруг нас). То есть получается, что эти вещества не загрязняют природу, являются экологически чистыми.

Однако не следует делать поспешных выводов.

Во-первых, наряду с углеродом и водородом практически все виды топлива содержат небольшое количество серы, которая со временем превращается в ядовитую серную кислоту.

Во-вторых, на тепловых станциях при сгорании угля образуется пепел, определенное количество которого разлетается, загрязняя все вокруг.

В-третьих, в моторах автомобилей топливо не всегда сгорает «до конца», поэтому в выхлопных газах содержится значительное количество отравляющего угарного газа (CO).

И это далеко не исчерпывающий перечень!

Загрязнение атмосферы стало проблемой для всего человечества. Как же бороться с негативными последствиями использования тепловых двигателей?

Существует несколько основных направлений:

1) уменьшение (или по крайней мере сохранение на стабильном уровне) суммарной мощности тепловых машин. Другими словами, *потребители энергии* (телевизоры, холодильники, лампы и т. п.) *должны использовать меньше энергии*;

2) уменьшение *вредных выбросов тепловых электростанций*. В частности, для этого применяют специальные фильтры;

3) *использование нетепловых источников энергии*.

! Подводим итоги

Самым давним из применяемых в современной технике тепловых двигателей является паровая турбина. Работу в ней совершает нагретый пар, который направляется на лопатки турбины и вращает ее.

Еще один пример теплового двигателя — двигатель внутреннего сгорания. В нем топливо сгорает внутри цилиндров и нагретый воздух, расширяясь, выполняет работу. Рабочий цикл четырехтактного двигателя внутреннего сгорания имеет соответственно четыре такта: всасывание, сжатие, рабочий ход, выпуск.

В последнее время остро стоит проблема загрязнения окружающей среды из-за негативных проявлений работы тепловых машин.

Контрольные вопросы

1. Какие двигатели называют паровыми? 2. Назовите основные части паровой турбины. 3. Опишите работу паровой турбины. 4. Что в паровой турбине служит нагревателем? холодильником? рабочим телом? 5. Почему двигатель внутреннего сгорания так называется? 6. Назовите основные части двигателя внутреннего сгорания, опишите их назначение. 7. Какие процессы происходят в четырехтактном двигателе внутреннего сгорания на протяжении каждого из четырех тактов? 8. Докажите, что тепловые двигатели оказывают негативное влияние на окружающую среду. Как решают эту проблему?

Упражнение № 43

1. КПД дизельного двигателя составляет 40%. Объясните, что это значит.
2. Опытные водители легко определяют, какая свеча двигателя не работает. Как они это делают? Поясните свой ответ.
3. Тепловые двигатели, несмотря на многочисленные недостатки, являются самыми распространенными. Почему человек отдает предпочтение именно им?

§ 44. ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ВЕЩЕСТВА

?! Задумывались ли вы над тем, почему тает в руке комочек снега, почему образуются ледяные сосульки и когда это происходит — в оттепель или, наоборот, в мороз? А знаете ли вы, как охладить немного снега без морозильной камеры? Почему кусочек свинца можно расплавить в стальной ложке, а кусочек стали в свинцовой — нельзя? Изучив данный параграф, вы сможете ответить на эти вопросы.

1 Знакомимся с процессами плавления и кристаллизации

Если внести немного снега в теплую комнату, то спустя некоторое время он растает, или, как говорят физики, *расплавится*.

Плавление — это процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое.

Проследим изменение температуры снега в процессе его плавления в теплой комнате. В начале опыта (рис. 44.1, *а*) температура снега ниже 0 °С, снег не тает, а его температура быстро растет. Как только столбик термометра достигнет отметки 0 °С, температура перестанет увеличиваться, а в стакане появится вода (снег начнет плавиться) (рис. 44.1, *б*). Осторожно перемешаем воду с остатками

снега и отметим, что температура смеси остается неизменной. И только после того как снег полностью расплавится, температура снова начнет возрастать (рис. 44.1, *в*).

Из этого опыта можно сделать по меньшей мере два вывода: во-первых, в процессе плавления температура снега не изменяется; во-вторых, снег начинает плавиться только после достижения им температуры 0 °С.

Опыты доказывают: практически *все кристаллические вещества плавятся после достижения ими определенной температуры; в процессе плавления их температура не изменяется.*

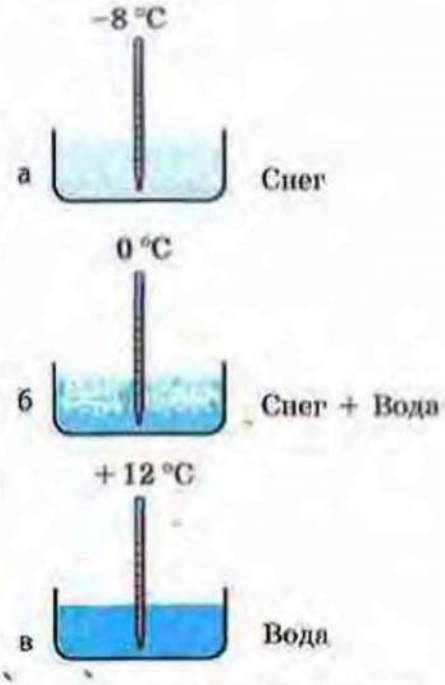


Рис. 44.1. Наблюдение процесса плавления снега в комнате: *а* — при температуре ниже 0 °С вода остается в твердом состоянии; *б* — при температуре 0 °С снег начинает таять; в процессе таяния температура смеси неизменно равна 0 °С; *в* — при температуре выше 0 °С вода находится в жидком состоянии

Температура плавления — это температура, при которой твердое кристаллическое вещество плавится, то есть переходит в жидкое состояние.

Итак, при достижении определенной температуры твердые вещества превращаются в жидкость. Точно так же при определенных условиях отвердевают (кристаллизуются) жидкости. Например, если поставить сосуд с водой в морозильную камеру, то вода со временем кристаллизуется — превратится в лед (рис. 44.2).

Кристаллизация — это процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое (кристаллическое).

Измеряя температуру веществ в процессе их охлаждения и последующей кристаллизации, можно сделать выводы, аналогичные выводам в отношении плавления веществ: во-первых, *в процессе кристаллизации температура вещества не изменяется*; во-вторых, *процесс кристаллизации начинается только после охлаждения жидкости до определенной температуры.*

Измерения показывают, что *температура кристаллизации вещества равна температуре его плавления.*

Рис. 44.2. Вода, помещенная в морозильную камеру, кристаллизуется — превращается в лед

Температуры плавления (кристаллизации) разных веществ достаточно сильно отличаются (см. таблицу).

Температура плавления (кристаллизации) некоторых веществ при нормальном атмосферном давлении

Вещество	t, °C	Вещество	t, °C
Водород	–256	Алюминий	660
Спирт	–115	Серебро	962
Ртуть	–39	Золото	1065
Лед	0	Медь	1087
Парафин	55	Чугун	1200
Нафталин	80	Сталь	1400
Олово	232	Железо	1535
Свинец	327	Титан	1660
Цинк	420	Вольфрам	3387

В приведенной таблице нет *аморфных веществ*, поскольку они (вам это известно из курса физики 7 класса) не имеют определенной температуры плавления: нагреваясь, они постепенно размягчаются, а в ходе охлаждения — затвердевают. Далее, изучая процессы плавления и кристаллизации, мы будем рассматривать только кристаллические вещества.

2 Убеждаемся, что процессы плавления и кристаллизации невозможны без передачи энергии

Если опыт с таянием снега провести в холодильной камере, температура в которой постоянна и равна 0 °C, выяснится следующее.

Как и в опыте с таянием снега в теплой комнате, сначала температура снега будет увеличиваться, правда медленнее. Это значит, что увеличивается внутренняя энергия снега: более нагретый воздух в камере отдает определенное количество теплоты менее нагретому снегу. Температура снега будет повышаться до тех пор, пока не достигнет 0 °C. И тут начинается самое интересное. Температура снега достигла температуры плавления, а снег не тает (рис. 44.3). Почему?

Вспомните: первый опыт проводился в теплой комнате (при температуре выше 0 °C). Следовательно, между воздухом в комнате и снегом происходил теплообмен. При этом снег все время *получал энергию*, в частности и тогда, когда его температура оставалась неизменной, поэтому он таял. Во втором опыте температура плавления снега и температура воздуха в холодильной камере одинаковы,

поэтому теплообмена не происходит. Снег *не получает* энергию, следовательно, и *не тает*.

Делаем вывод: *чтобы вещество плавилось, нужно, чтобы оно получало энергию*. А это значит, что *при одинаковой температуре внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии вещества в твердом состоянии*.

Следовательно, если в холодильную камеру с температурой воздуха 0 °С поместить теплую воду, то температура воды постепенно уменьшится до 0 °С (теплая вода отдает энергию воздуху в камере), однако после этого вода кристаллизоваться не будет. Ведь чтобы перейти в состояние с меньшей внутренней энергией, веществу нужно отдать окружающей среде некоторое количество теплоты, а в случае теплового равновесия теплообмен не происходит.

Рис. 44.3. В холодильной камере, температура воздуха в которой составляет 0 °С, снег достигает температуры плавления, но не тает

3 Строим график плавления и кристаллизации вещества

Для более подробного изучения процессов плавления и кристаллизации вещества рассмотрим график зависимости температуры кристаллического вещества (льда) от времени его нагревания или охлаждения (рис. 44.4).

Участок графика от точки *A* до точки *D* соответствует передаче определенного количества теплоты от нагревателя веществу, а следовательно, соответствует увеличению внутренней энергии вещества. Участок от точки *D* до точки *K* соответствует передаче теплоты от вещества холодильнику, а следовательно, соответствует уменьшению внутренней энергии вещества.

Из графика видно, что в момент начала наблюдения (точка *A*) температура льда составляла –20 °С. При работе нагревателя температура льда увеличивается (участок *AB*). Согласно атомно-молекулярной теории в это время в узлах кристаллической решетки льда увеличивается кинетическая энергия колебательного движения молекул воды.

После достижения температуры 0 °С лед начинает плавиться, и некоторое время температура вещества не изменяется (участок *BC*), несмотря на то что нагреватель продолжает работать и передавать льду определенное количество теплоты. Вся энергия, поступающая от нагревателя, расходуется на разрушение кристаллической решетки льда. В этот промежуток времени внутренняя энергия льда возрастает только за счет увеличения потенциальной энергии молекул.

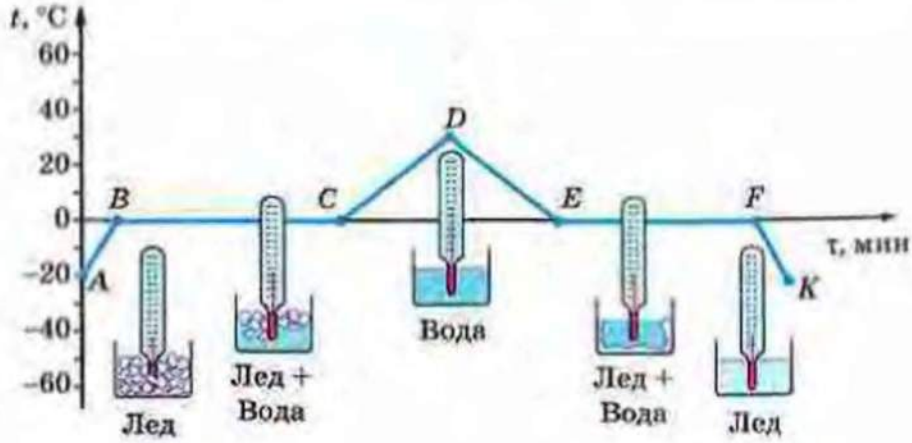


Рис. 44.4. График плавления и кристаллизации льда (без соблюдения масштаба)

После того как весь лед расплавился (превратился в воду) (точка *C*), температура вещества снова начала расти (участок *CD*), то есть начала возрастать кинетическая энергия движения молекул.

В момент, когда температура воды достигла 30 °C (точка *D*), нагреватель выключили. Воду поместили в холодильник, и ее температура начала падать (участок *DE*). Снижение температуры свидетельствует о том, что кинетическая энергия, а значит, и скорость движения молекул уменьшаются.

Когда вода достигает температуры кристаллизации 0 °C (точка *E*), скорость молекул уменьшается настолько, что они уже не могут перепрыгивать с места на место. Постепенно они занимают фиксированное положение (участок *EF*), и к моменту завершения кристаллизации все молекулы колеблются только около положения равновесия. Вода переходит в состояние с меньшей внутренней энергией — полностью превращается в лед (точка *F*).

При дальнейшей работе холодильника замерзшая вода (лед) остывает, а кинетическая энергия колебательного движения молекул уменьшается (участок *FK*).

! Подводим итоги

Тепловой процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое называют плавлением. В процессе плавления температура вещества не изменяется. Температура, при которой твердое кристаллическое вещество переходит в жидкое состояние, называют температурой плавления.

При одинаковой температуре внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии вещества в твердом состоянии.

Чтобы вещество перевести из твердого состояния в жидкое, необходимо выполнение двух условий: вещество нужно нагреть до температуры плавления; при плавлении вещество должно получать энергию.

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое называют кристаллизацией. Температура кристаллизации вещества равна температуре его плавления.

Чтобы вещество перевести из жидкого состояния в кристаллическое, необходимо выполнение двух условий: жидкость нужно охладить до температуры кристаллизации; при кристаллизации вещество должно иметь возможность отдавать энергию.

Контрольные вопросы

1. Какой процесс называют плавлением? **2.** Как изменяется температура вещества при плавлении? **3.** Какой процесс называют кристаллизацией? **4.** Сравните температуры плавления и кристаллизации какого-либо вещества. **5.** Будет ли таять лед в холодильнике, температура в котором 0 °С? Будет ли замерзать при такой температуре вода? **6.** Опишите процессы, происходящие при плавлении и кристаллизации льда.

Упражнение № 44

1. Можно ли расплавить сталь в свинцовой ложке? Поясните свой ответ.
2. В ведре с водой плавают куски льда. Что при этом происходит: тает лед или замерзает вода? От чего это зависит?
3. На рис. 1 представлены графики плавления некоторых веществ. У какого из веществ выше температура плавления? Какое из них в начале опыта имело бо́льшую температуру? Воспользовавшись таблицей на с. 220, определите, о каких веществах идет речь.
4. На рис. 2 приведен график плавления и кристаллизации определенного вещества. Какому состоянию вещества соответствуют точки *A*, *B*, *C* и *D* графика?

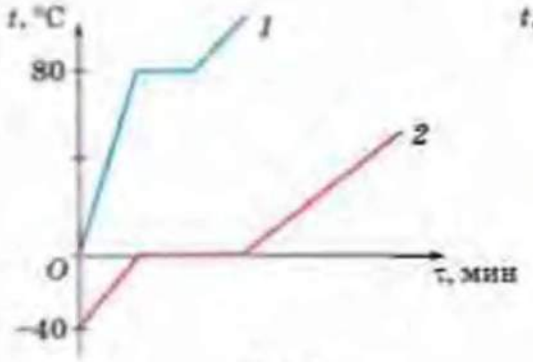


Рис. 1

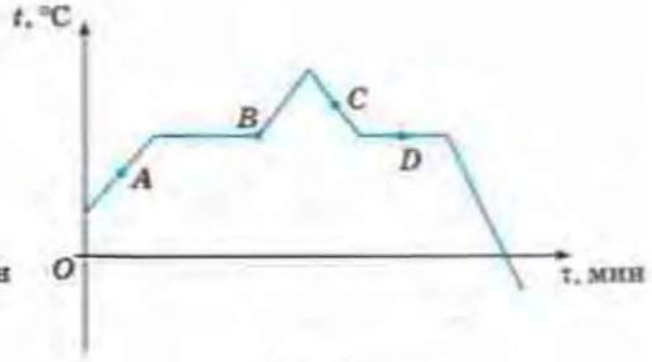


Рис. 2

Экспериментальное задание

Смешайте 100 г снега, взятого при температуре 0 °С, и 30 г поваренной соли (1 столовая ложка с горкой). Снег начнет быстро таять и остывать. Если в такой раствор опустить кусочек картофеля, то он промерзнет. Объясните почему. (*Подсказка*: раствор соли кристаллизируется при более низкой температуре, чем вода.)

§ 45. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ

?! Вы уже знаете, что при переходе из твердого состояния в жидкое вещество поглощает определенное количество теплоты и его внутренняя энергия увеличивается, а обратный переход сопровождается выделением теплоты и уменьшением внутренней энергии вещества. Выясним, от чего зависит количество теплоты, необходимое для плавления определенной массы вещества, и какое количество теплоты выделяется при кристаллизации.

1 Вводим понятие удельной теплоты плавления вещества

Изучение процессов плавления и кристаллизации показало, что *количество теплоты, которое необходимо израсходовать на плавление определенной массы вещества, равно количеству теплоты, выделяющемуся во время его кристаллизации.*

Опыты также показывают, что при этих процессах *изменение внутренней энергии вещества прямо пропорционально массе вещества.*

Возникает вопрос: одинаковое ли количество теплоты необходимо израсходовать на плавление разных веществ одинаковой массы?

Логично предположить, что разное, ведь силы взаимодействия между частицами различных веществ неодинаковы, поэтому на разрушение их кристаллических решеток наверняка потребуется разное количество энергии. И это на самом деле так. Например, чтобы расплавить 1 кг льда, ему нужно передать в 10 раз больше теплоты, чем необходимо для плавления 1 кг свинца.

Удельная теплота плавления — физическая величина, характеризующая определенное вещество и равная количеству теплоты, которое необходимо передать твердому кристаллическому веществу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкость.

Удельную теплоту плавления обозначают символом λ («лямбда») и вычисляют по формуле

$$\lambda = \frac{Q}{m},$$

где Q — количество теплоты, необходимое для плавления вещества массой m.

Из формулы для определения удельной теплоты плавления получим единицу этой величины в СИ — **джоуль на килограмм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Удельная теплота плавления показывает, на сколько при температуре плавления внутренняя энергия 1 кг *вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии* 1 кг *этого вещества в твердом состоянии.* В этом заключается физический смысл удельной теплоты плавления.

Удельную теплоту плавления определяют опытным путем (рис. 45.1) и фиксируют в таблицах.

Удельная теплота плавления некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	λ, $\frac{кДж}{кг}$	Вещество	λ, $\frac{кДж}{кг}$
Алюминий	393	Серебро	87
Лед	332	Сталь	84
Железо	270	Золото	67
Медь	213	Водород	59
Вольфрам	185	Олово	59
Парафин	150	Свинец	25
Платина	113	Кислород	14
Спирт	105	Ртуть	12

2 Вычисляем количество теплоты, необходимое для плавления вещества или выделяющееся при его кристаллизации

Из формулы для определения удельной теплоты плавления $\lambda = \frac{Q}{m}$ получим формулу для вычисления количества теплоты, которое необходимо передать твердому веществу массой m, чтобы превратить его в жидкость при температуре плавления:

$$Q = \lambda m$$

То есть, *чтобы вычислить количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического вещества, взятого при температуре плавления, нужно удельную теплоту плавления этого вещества умножить на его массу.*

Понятно, что количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации вещества, рассчитывают по той же формуле: $Q = \lambda m$.

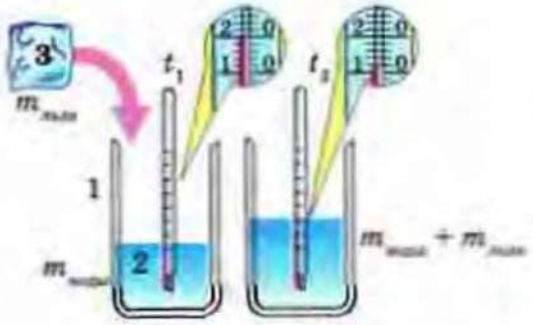


Рис. 45.1. Опыт по определению удельной теплоты плавления воды. В калориметр *(1)*, содержащий известную массу воды *(2)*, погружают лед *(3)* при температуре 0 °С. Измерив массу воды после плавления льда и температуру воды до и после плавления льда (t_1 и t_2), определяют удельную теплоту плавления льда:

$$\lambda = \frac{c_{воды} m_{воды} (t_1 - t_2)}{m_{льда}}$$

3 Учимся решать задачи

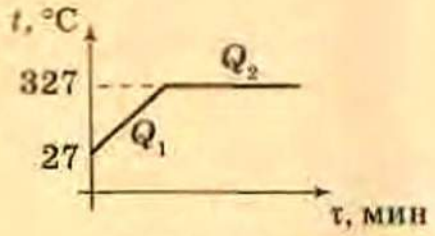
Задача. Какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить 5 кг свинца, взятого при температуре 27 °С?

Дано:
$m = 5$ кг
$t_1 = 27$ °С
$t_2 = 327$ °С
$c = 140 \frac{Дж}{кг \cdot °С}$
$\lambda = 25 \frac{кДж}{кг} = 25\,000 \frac{Дж}{кг}$

Q — ?

Анализ физической проблемы

Чтобы расплавить свинец, его сначала нужно нагреть до температуры плавления. Найдем в таблице (с. 220) температуру t_2 плавления свинца и построим схематический график процесса:



Общее количество теплоты Q равно сумме количества теплоты Q_1, необходимого для нагревания свинца до температуры плавления, и количества теплоты Q_2, необходимого для плавления. Удельную теплоемкость c и удельную теплоту плавления λ свинца найдем в таблицах (с. 194, 225).

Поиск математической модели, решение

$Q = Q_1 + Q_2$; (1)

$Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ — нагревание; (2)

$Q_2 = \lambda m$ — плавление. (3)

Подставив формулы (2) и (3) в формулу (1), окончательно получим:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + \lambda m.$$

Определим значение искомой величины:

$$[Q] = \frac{Дж}{кг \cdot °С} \cdot кг \cdot °С + \frac{Дж}{кг} \cdot кг = Дж + Дж = Дж;$$

$$\{Q\} = 140 \cdot 5 \cdot (327 - 27) + 25\,000 \cdot 5 = 335\,000;$$

$$Q = 335\,000\ Дж = 335\ кДж.$$

Ответ: необходимое количество теплоты равно 335 кДж.

1 Подводим итоги

Физическая величина, характеризующая определенное вещество и равная количеству теплоты, которое необходимо передать 1 кг этого вещества в твердом состоянии, чтобы при температуре

плавления полностью перевести его в жидкость, называется удельной теплотой плавления λ.

Удельная теплота плавления показывает, на сколько внутренняя энергия 1 кг вещества в жидком состоянии, взятого при температуре плавления, больше внутренней энергии 1 кг этого вещества в твердом состоянии.

Удельная теплота плавления вычисляется по формуле $\lambda = \frac{Q}{m}$ и в СИ измеряется в джоулях на килограмм $\left(\frac{Дж}{кг}\right)$.

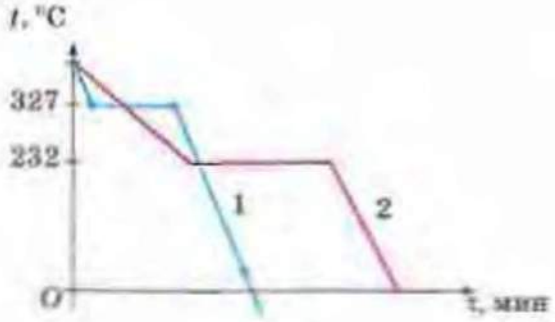
Количество теплоты, которое необходимо для плавления определенного вещества, взятого при температуре плавления, равно количеству теплоты, выделяющемуся при кристаллизации этого вещества, и вычисляется по формуле $Q = \lambda m$.

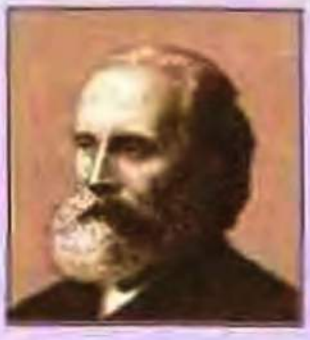
Контрольные вопросы

1. От чего зависит количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации вещества? 2. Что называют удельной теплотой плавления вещества? 3. Каков физический смысл удельной теплоты плавления? 4. Как вычислить количество теплоты, необходимое для плавления вещества или выделяющееся при его кристаллизации?

Упражнение № 45

1. Удельная теплота плавления стали составляет 84 кДж/кг. Что это значит?
2. Какое из тел имеет бо́льшую внутреннюю энергию и на сколько: алюминиевый брусок массой 1 кг, взятый при температуре плавления, или 1 кг расплавленного алюминия при той же температуре?
3. Какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить 500 г меди, взятой при температуре плавления?
4. Какое количество теплоты выделится при кристаллизации 100 кг стали и дальнейшем ее охлаждении до 0 °С? Начальная температура стали равна 1400 °С.
5. Какое количество теплоты необходимо для превращения 25 г льда, взятого при температуре −15 °С, в воду при температуре 10 °С?
6. В горячую воду положили лед, масса которого равна массе воды. После того как весь лед расплавился, температура воды уменьшилась до 0 °С. Вычислите начальную температуру воды, если начальная температура льда была 0 °С.
7. На рисунке изображены графики зависимости температур от времени в процессе кристаллизации двух веществ одинаковой массы. Какое вещество имеет более высокую температуру плавления? бо́льшую удельную теплоту плавления? бо́льшую удельную теплоемкость в твердом состоянии? Назовите эти вещества.





ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Михаил Петрович Авенариус (1835–1895) закончил Петербургский университет, в 1865–1891 гг. работал в Киевском университете; член-корреспондент Петербургской Академии наук. Ученый был организатором и руководителем киевской школы физиков-экспериментаторов — первой физической школы в Украине.

Научные труды М. П. Авенариуса касаются термоэлектричества и молекулярной физики. Ученый предложил и обосновал одну из основных формул, описывающих явление термоэлектричества (*закон Авенариуса*) (с термоэлектричеством вы познакомитесь позднее).

В области молекулярной физики ученый изучал жидкое и газообразное состояние веществ в условиях изменения температуры и давления. Именно в своей киевской лаборатории в 1873–1877 гг. М. П. Авенариус вместе с учениками получил количественные характеристики этих процессов — они вошли во все физические справочники того времени и благодаря высокой точности измерений долгое время оставались неизменными.

§ 46. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

?! Почему, выходя из реки в жаркий летний день, мы ощущаем прохладу? Куда исчезают лужи после дождя? Для чего в жару собака высовывает язык? Почему, если нужно остудить руки, мы на них дуем, а если хотим согреть, то дышим? Ежедневно можно задавать себе множество таких вопросов. В этом параграфе вы найдете ответы на некоторые из них.

1 Знакомимся с процессом испарения

Любое вещество может переходить из одного агрегатного состояния в другое. При определенных условиях твердое тело может превратиться в жидкость, а жидкость стать твердой или превратиться в газ.

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называют **парообразованием.**

Есть два способа превращения жидкости в газ: *испарение* и *кипение*. Знакомство с парообразованием жидкости начнем с процесса испарения.

Если разлить воду, то через некоторое время лужа исчезнет; промокшие под дождем вещи обязательно станут сухими; даже масляный след, оставшийся на асфальте после неисправной машины, со временем станет почти незаметным. Все эти явления можно объяснить испарением жидкости.

Испарение — это процесс парообразования с поверхности жидкости*.

2 Объясняем процесс испарения и делаем выводы

Рассмотрим процесс испарения с точки зрения атомно-молекулярной теории.

Молекулы жидкости постоянно движутся, изменяя скорость своего движения. Среди молекул, хаотично движущихся около поверхности жидкости, всегда найдутся такие, которые «стараются» вылететь из нее. Те молекулы, которые в определенный момент движутся медленно, не смогут преодолеть притяжения соседних молекул и останутся в жидкости. Если же около поверхности окажется «быстрая» молекула, то ее кинетической энергии будет достаточно, чтобы выполнить работу против сил межмолекулярного притяжения, и эта молекула вылетит за пределы жидкости (рис. 46.1).

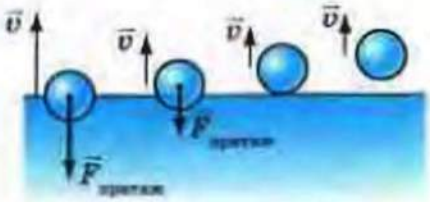


Рис. 46.1. Молекула, вылетающая из жидкости, должна преодолеть силы межмолекулярного притяжения, которые тянут ее обратно в жидкость

Теперь можно сделать несколько выводов.

Во-первых, тот факт, что в жидкости всегда есть молекулы, движущиеся сравнительно быстро, позволяет сделать вывод, что *испарение жидкостей происходит при любой температуре*.

Во-вторых, поскольку в процессе испарения жидкость покидают самые быстрые молекулы, то средняя кинетическая энергия остальных молекул уменьшается. Поэтому, *если жидкость не получает энергии извне, она остывает*. Кроме того, во время испарения совершается работа против сил межмолекулярного притяжения и против сил внешнего давления, поэтому *процесс испарения сопровождается поглощением энергии*. Именно поэтому, выходя из реки после купания или находясь в мокрой одежде, мы ощущаем прохладу.

3 Выясняем, от чего зависит скорость испарения

Чтобы быстро высушить одежду, мы обычно кладем ее на батарею отопления или проутюживаем. Почему мы это делаем? Потому что *скорость испарения зависит от температуры жидкости*. С увеличением температуры жидкости увеличивается количество «быстрых» молекул, а следовательно, все большее их количество может преодолеть силы межмолекулярного притяжения и вылететь за пределы жидкости, то есть чем выше температура жидкости, тем быстрее она испаряется.

* Процесс парообразования происходит и с поверхности твердых тел (вы, наверное, ощущали запах нафталина, замечали, что при сильном морозе исчезают замерзшие лужи и т. п.). Этот процесс называют *сублимацией* (или *возгонкой*).

Рис. 46.2. С увеличением площади поверхности (чай перелит из чашки в блюдце) скорость испарения увеличивается. А поскольку при испарении чай теряет энергию, он быстрее остывает (Б. М. Кустодиев «Барыня за чаем»)

Обратим внимание еще на один момент. Стараясь быстро высушить одежду, мы не положим ее на батарею комком, а расправим, по опыту зная, что скомканная одежда высыхает намного медленнее. Почему? Потому что *скорость испарения зависит от площади свободной поверхности жидкости*. Ведь чем больше площадь поверхности жидкости, тем больше «быстрых» молекул окажется на поверхности и тем быстрее жидкость испарится (рис. 46.2). С увеличением площади поверхности скорость испарения увеличивается.

Нарисуем на стекле или классной доске три фигурки. Одну изобразим салфеткой, смоченной в спирте, другую — в воде, третью — в масле (рис. 46.3). «Спиртовая» фигурка мгновенно испарится, «водяная» продержится немного дольше, тогда как «масляная» будет радовать нас несколько дней. Дело в том, что силы притяжения между молекулами разных жидкостей различны, поэтому *скорость испарения зависит от рода жидкости*. Очевидно, что быстрее испаряются те жидкости, молекулы которых слабее взаимодействуют друг с другом.

а б в

Рис. 46.3. Демонстрация зависимости скорости испарения от рода жидкости. Через минуту фигурка, нарисованная спиртом, полностью исчезла *(а)*; фигурка, нарисованная водой, осталась частично (б); испарения масла почти незаметно *(в)*

Жизненный опыт подсказывает, что *скорость испарения зависит от движения воздуха*. Действительно, чтобы быстро высушить волосы, мы включаем фен в более мощном режиме; чтобы остудить обожженную руку, дуем на нее. Белье, вывешенное на ветру, сохнет быстрее, чем в помещении. Такую зависимость тоже легко объяснить с точки зрения молекулярного движения. Около поверхности жидкости всегда существует «облако» молекул, вылетевших из нее. Эти молекулы хаотично движутся, сталкиваются друг с другом и с молекулами других газов, составляющих воздух. Вследствие этого молекула жидкости может так близко подлететь к ее поверхности, что ее «захватят» силы межмолекулярного взаимодействия и «заставят» вернуться обратно в жидкость (рис. 46.4). А если есть ветер, то он сразу уносит часть вылетевших молекул и не дает им возможности вернуться.

Если бы все молекулы, покинувшие жидкость, не возвращались в нее, то скорость испарения была бы просто колоссальной. Например, при комнатной температуре полный стакан воды испарился бы за 6 мин, ведь при этих условиях с 1 см³ воды каждую секунду вылетает 10^{21} молекул.

Рис. 46.4. Молекулы, покинувшие жидкость, могут снова вернуться в нее вследствие теплового движения

4 Знакомимся с процессом конденсации

Мы уже знаем, что молекулы постоянно вылетают из жидкости и определенное их количество возвращается. Таким образом, наряду с процессом испарения, в ходе которого жидкость превращается в пар, существует обратный процесс, при котором вещество из газообразного состояния переходит в жидкое.

Процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое называют **конденсацией.**

Процесс конденсации (от латин. *condensatio* — сгущение, уплотнение) воды в природе мы наблюдаем ежедневно. Так, летним утром на листьях растений появляются прозрачные капельки *росы* (рис. 46.5, *а*). Это водяной пар, который днем вследствие испарения накапливается в воздухе, а ночью, охлаждаясь, конденсируется.

Когда влажный воздух поднимается в более высокие слои атмосферы, то, охлаждаясь, он образует *облака* (рис. 46.5, *б*). Облака состоят из мелких капелек воды, образовавшихся вследствие конденсации водяного пара. А когда влажный воздух охлаждается около поверхности Земли, образуется туман (рис. 46.5, *в*). Поскольку процесс конденсации сопровождается выделением энергии, то образование тумана задерживает снижение температуры воздуха.

Рис. 46.5. Проявления конденсации в природе: выпадение росы *(а)*; образование облаков *(б)*; появление тумана *(в)*;

Подводим итоги

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называют парообразованием. Процесс парообразования с поверхности жидкости называют испарением.

Испарение происходит при любой температуре. Чем выше температура жидкости, тем интенсивнее испарение. Скорость испарения увеличивается также с увеличением площади свободной поверхности жидкости и в случае, если пар, образующийся над жидкостью, относится, например, ветром. Кроме того, интенсивность испарения зависит от рода жидкости.

Наряду с испарением существует обратный процесс — конденсация — процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое. Процесс испарения происходит с поглощением энергии; процесс конденсации сопровождается выделением энергии.

Контрольные вопросы

1. Что называют парообразованием? 2. Какие способы парообразования вы знаете? 3. Что называют испарением? 4. От каких факторов зависит скорость испарения? Почему? Приведите примеры. 5. Что такое конденсация? Приведите примеры конденсации в природе.

Упражнение № 46

1. Почему вода в открытом сосуде всегда немного холоднее, чем окружающий воздух?
2. Для чего собаки в жару высовывают язык?
3. Оставаясь в мокрой одежде или обуви продолжительное время, можно простудиться. Почему?
4. Почему, чтобы волосы быстрее высохли, их следует расчесывать и встряхивать?
5. Когда лужи после дождя высыхают быстрее: в теплую или прохладную погоду? Почему?
6. Почему после смачивания рук спиртом ощущение холода сильнее, чем после смачивания их водой?
7. Весной, когда интенсивно тает снег, над полями иногда образуется туман. При его рассеивании становится заметно, что количество снега значительно уменьшилось. В народе говорят: «Весенний туман снег съедает». Объясните эту примету с точки зрения физики.
8. В странах Азии для питьевой воды используют специальные сосуды из слабо обожженной глины — алькарацца (см. рисунок). Вода, налитая в эти сосуды, может просачиваться сквозь ее глиняные стенки. Почему вода в таких сосудах остается прохладной даже в знойный летний день?
9. Находясь в морозный день на улице, вы можете наблюдать «пар», идущий изо рта. Что вы видите на самом деле?

Экспериментальное задание

Возьмите хорошо увлажненную и отжатую хлопчатобумажную салфетку, положите ее на блюдце, а блюдце поставьте в холодильную камеру. Убедитесь, что спустя некоторое время салфетка затвердеет, а через несколько дней высохнет. Напишите отчет, в котором используйте информацию об испарении твердых тел, найденную в дополнительной литературе и Интернете.

§ 47. КИПЕНИЕ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

?! До какой температуры можно нагреть воду? Имеет ли смысл увеличивать мощность горелки, чтобы ускорить приготовление борща? Как вскипятить воду с помощью снега? Ответы на некоторые из этих вопросов вы найдете в этом параграфе, на остальные сможете ответить сами после его изучения.

1 Знакомимся с процессом кипения

Проведем эксперимент. Закрепим колбу с водой в лапке штатива. Плотно закупорим колбу пробкой с двумя отверстиями. В одно из отверстий поместим трубку для выхода пара, во второе — термометр (рис. 47.1). С помощью спиртовки начнем нагревать воду в колбе.

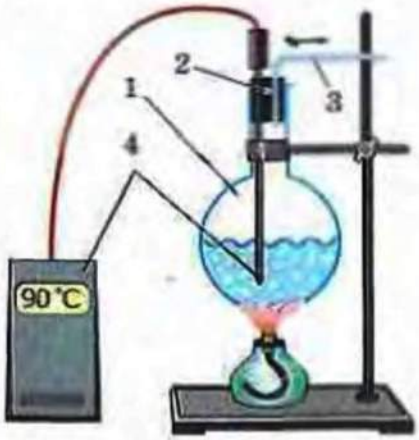


Рис. 47.1. Устройство для наблюдения и изучения кипения жидкости: *1* — стеклянная колба; *2* — резиновая пробка с отверстиями; *3* — трубка для отведения водяного пара; *4* — термометры

Через некоторое время дно и стенки колбы покроются *пузырьками* (рис. 47.2, *а*), образованными растворенным в воде воздухом и водяным паром. Дело в том, что в жидкости всегда есть растворенные газы, однако с увеличением температуры растворимость газов уменьшается, а «лишний» газ выделяется в виде пузырьков. Поскольку пузырьки находятся в воде, то в них, кроме воздуха, присутствует еще и водяной пар.

С увеличением температуры воды пузырьки увеличиваются в объеме. При достижении пузырьком определенного размера *архимедова сила, действующая на пузырек, отрывает его от стенки или от дна сосуда и пузырек поднимается* (рис. 47.2, *б*). На месте пузырька остается небольшое количество воздуха — *зародыш* нового пузырька. Верхние слои воды некоторое время холоднее нижних, поэтому в верхних слоях водяной пар в пузырьке конденсируется, воздух, находящийся в нем, растворяется и пузырек резко уменьшается в объеме — «схлопывается». Этот процесс сопровождается шумом.

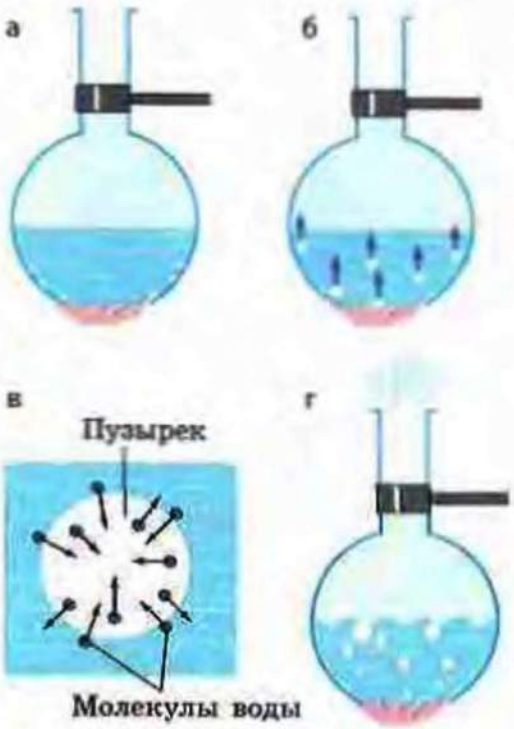


Рис. 47.2. Наблюдение за процессом закипания воды

Когда вся жидкость достаточно прогреется, а температура верхних и нижних слоев уравняется, пузырьки, поднимаясь, уже не будут уменьшаться в объеме, а наоборот, будут увеличиваться. *В течение*

Рис. 47.3. В процессе кипения температура жидкости остается неизменной. Поэтому во время приготовления еды, после того как вода закипит, нужно уменьшить мощность нагревателя. Это даст экономию энергии и не снизит скорости приготовления

Рис. 47.4. Если пережать трубку для отведения водяного пара, давление в колбе увеличится, и это приведет к возрастанию температуры кипения жидкости

Рис. 47.5. Кастрюля-скороварка: над жидкостью поддерживается высокое давление благодаря клапанам и герметичной крышке, поэтому температура кипения воды достигает 200 °C

этого времени внутрь пузырьков активно испаряется вода (рис. 47.2, *в*). Достигнув поверхности воды, пузырьки лопаются и выбрасывают наружу значительное количество водяного пара (рис. 47.2, *г*). Вода начинает бурлить и клокотать — мы говорим, что она закипела. Термометр в этот момент показывает температуру 100 °C.

Кипение — это процесс парообразования, происходящий во всем объеме жидкости и сопровождающийся образованием и ростом пузырьков пара.

2 Выясняем, от чего зависит температура кипения

Продолжим нагревать теперь уже кипящую воду и наблюдать за показаниями термометра. Мы увидим, что столбик термометра застыл на отметке 100 °C. Следовательно, *при кипении температура жидкости не изменяется* (рис. 47.3).

Температура, при которой жидкость кипит, называют **температурой кипения.**

Выясним, от чего зависит температура кипения жидкости.

Для начала уменьшим выход пара из колбы, крепко сжав трубку для отведения пара (рис. 47.4). Пар будет собираться над поверхностью воды, давление над жидкостью увеличится, и кипение на некоторое время прекратится. Температура жидкости начнет повышаться.

Таким образом, *температура кипения зависит от внешнего давления. С увеличением внешнего давления температура кипения жидкости возрастает* (рис. 47.5).

Нальем в колбу воду комнатной температуры и насосом начнем откачивать из колбы воздух. Через некоторое время на внутренней поверхности колбы появятся пузырьки газа. Если откачивать воздух и дальше, вода закипит (рис. 47.6), но уже при температуре намного ниже 100 °C.

Следовательно, *если внешнее давление уменьшается, температура кипения жидкости снижается.*

Наблюдая кипение других жидкостей, например спирта, масла, эфира, можно заметить, что при нормальном давлении они кипят при разных температурах, отличающихся от температуры кипения воды. То есть *температура кипения зависит от рода жидкости* (см. таблицу).

Температура кипения некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	Температура кипения, °C	Вещество	Температура кипения, °C
Водород	–253	Глицерин	290
Кислород	–183	Масло	310
Эфир	35	Ртуть	357
Спирт	78	Свинец	1740
Молоко	100	Медь	2567
Вода	100	Железо	2750

Температура кипения также сильно *зависит от наличия в жидкости растворенного газа.* Если долго кипятить воду, удалив тем самым из нее растворенный газ, то повторно при нормальном давлении эту воду можно будет нагреть до температуры, превышающей 100 °C. Такую воду называют *перегретой.*

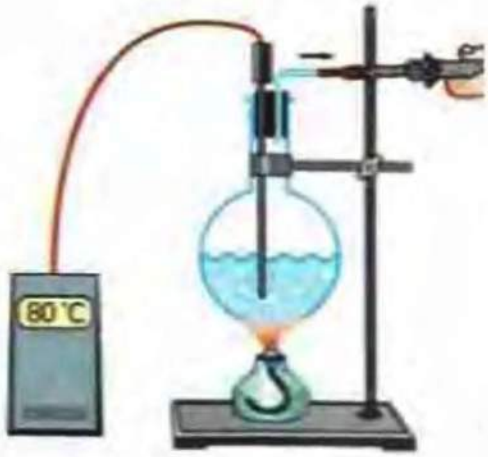


Рис. 47.6. Наблюдение за снижением температуры кипения воды при уменьшении внешнего давления

3 Вводим понятие удельной теплоты парообразования

Процесс кипения — это процесс перехода жидкости в пар, и этот процесс идет с поглощением энергии. Поэтому *для поддержания кипения жидкости к ней нужно подводить определенное количество теплоты.*

Опыты показывают: количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при неизменной температуре, пропорционально массе жидкости и зависит от рода жидкости.

Удельная теплота парообразования — это физическая величина, характеризующая определенное вещество и равная количеству теплоты, которое необходимо передать жидкости массой 1 кг, чтобы при неизменной температуре превратить ее в пар.

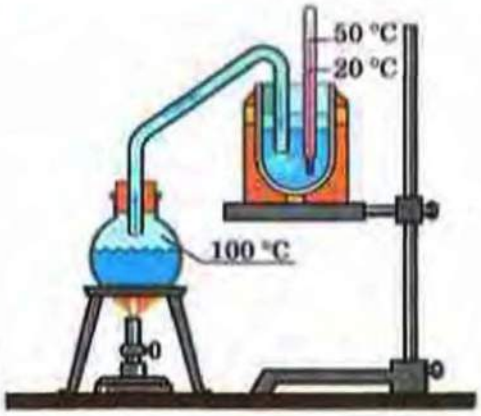


Рис. 47.7. Опыт по определению удельной теплоты парообразования воды (см. также задачу 2 на с. 238)

Удельную теплоту парообразования обозначают символом L и вычисляют по формуле

$$L = \frac{Q}{m},$$

где Q — количество теплоты, полученное жидкостью; m — масса полученного пара.

Удельная теплота парообразования показывает, на сколько при данной температуре внутренняя энергия 1 кг вещества в газообразном состоянии больше, чем внутренняя энергия 1 кг этого же вещества в жидком состоянии.

Единица удельной теплоты парообразования в СИ — **джоуль на килограмм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Удельную теплоту парообразования определяют опытным путем (рис. 47.7) и заносят в таблицы.

Удельная теплота парообразования некоторых веществ (при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	L, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Вещество	L, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Вода	2,3	Эфир	0,4
Аммиак	1,4	Ртуть	0,3
Спирт	0,9	Воздух	0,2

4 Вычисляем количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар

Из формулы для определения удельной теплоты парообразования вещества легко получить формулу для вычисления количества теплоты (Q), которое необходимо передать жидкости (массой m), чтобы превратить ее в пар при неизменной температуре. Действительно, по определению $L = \frac{Q}{m}$, отсюда

$$Q = Lm$$

Если перед трубкой для отвода пара поместить какой-либо холодный предмет, на нем будет конденсироваться пар (рис. 47.8).

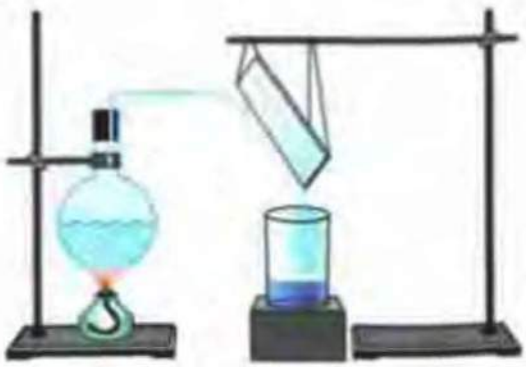


Рис. 47.8. Опыт, демонстрирующий конденсацию пара

Очень точные измерения показывают, что *при конденсации пара выделяется такое же количество теплоты, какое затрачивается на парообразование.*

5 **Учимся решать задачи**

Задача 1. Какое количество энергии нужно израсходовать, чтобы 3 кг воды, взятой при температуре 0 °C, довести до кипения и полностью испарить? Постройте график процесса (не придерживаясь масштаба).

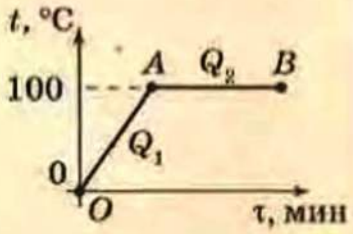
Дано:
$m = 3$ кг
$t_1 = 0$ °C
$t_2 = 100$ °C
$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$
$L = 2{,}3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} = 2{,}3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Q — ?

Анализ физической проблемы

Построим график зависимости температуры вещества от времени его нагревания.

В первый момент времени температура воды (t_1) составляет 0 °C — точка O на графике. При дальнейшем нагревании температура воды увеличивается пропорционально количеству переданной теплоты Q_1, а следовательно, и времени нагревания (участок OA).



При температуре 100 °C (температура кипения воды) вода начинает кипеть и ее температура уже не будет изменяться до тех пор, пока вся вода не испарится (участок AB графика). Вода при этом получает определенное количество теплоты Q_2. Общее количество теплоты Q равно сумме количества теплоты Q_1, необходимого для нагревания воды до температуры кипения, и количества теплоты Q_2, необходимого для парообразования. Удельную теплоемкость c воды и удельную теплоту парообразования L найдем в таблицах (см. с. 194, 236).

Поиск математической модели, решение

$Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ — нагревание воды; (1)

$Q_2 = Lm$ — парообразование; (2)

$Q = Q_1 + Q_2$. (3)

Подставив формулы (1) и (2) в формулу (3), окончательно получим:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + Lm.$$

Определим значение искомой величины:

$$[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot {}^\circ\text{C} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж};$$

$$\{Q\} = 4200 \cdot 3 \cdot (100 - 10) + 2{,}3 \cdot 10^6 \cdot 3 = 803\,400;$$

$$Q = 803\,400 \text{ Дж} = 803{,}4 \text{ кДж}.$$

Ответ: нужно израсходовать 803,4 кДж теплоты.

Задача 2. Во время опыта по определению удельной теплоты парообразования воды водяной пар, имеющий температуру 100 °С, поступает в калориметр, в котором содержится 500 г воды при температуре 20 °С (см. рис. 47.7). После окончания опыта температура воды в калориметре была 50 °С, а ее масса увеличилась на 25 г. По данным опыта вычислите удельную теплоту парообразования воды. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Дано:
$t_1 = 100$ °С
$m_{воды} = 500$ г $= 0{,}5$ кг
$t_2 = 20$ °С
$t = 50$ °С
$m_{пара} = 25$ г $= 0{,}025$ кг
$c_{воды} = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot °С}$

L — ?

Анализ физической проблемы

Во время опыта происходит теплообмен между водой в калориметре и паром. Отдает энергию водяной пар $(Q_{пара})$, который сначала конденсируется (Q_1), а потом охлаждается (Q_2). Получает тепло вода $(Q_{воды})$. По условию теплообмен с окружающей средой не происходит, поэтому $Q_{пара} = Q_{воды}$. (1)

Поиск математической модели, решение и анализ результатов

Общее количество теплоты, отданное паром: $Q_{пара} = Q_1 + Q_2$, где $Q_1 = Lm_{пара}$; $Q_2 = c_{воды} m_{пара}(t_1 - t)$. Следовательно,

$$Q_{пара} = Lm_{пара} + c_{воды} m_{пара}(t_1 - t). \quad (2)$$

Количество теплоты, полученное водой:

$$Q_{воды} = c_{воды} m_{воды}(t - t_2). \quad (3)$$

Подставим уравнение (2) и (3) в уравнение (1):

$$Lm_{пара} + c_{воды} m_{пара}(t_1 - t) = c_{воды} m_{воды}(t - t_2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Lm_{пара} = c_{воды} m_{воды}(t - t_2) - c_{воды} m_{пара}(t_1 - t).$$

Окончательно $L = \frac{c_{воды} m_{воды}(t - t_2) - c_{воды} m_{пара}(t_1 - t)}{m_{пара}}$.

Определим значение искомой величины:

$$[L] = \frac{\frac{Дж}{кг \cdot °С} кг(°С - °С)}{кг} = \frac{\frac{Дж \cdot °С}{°С}}{кг} = \frac{Дж}{кг};$$

$$\{L\} = \frac{4200 \cdot 0{,}5 \cdot 30 - 4200 \cdot 0{,}025 \cdot 50}{0{,}025} = 2\,310\,000;$$

$$L = 2{,}31 \frac{МДж}{кг}.$$

Полученный результат совпадает с табличным значением, следовательно, задача решена правильно.

Ответ: удельная теплота парообразования воды 2,31 МДж/кг.

Подводим итоги

Процесс парообразования, который происходит во всем объеме жидкости и сопровождается образованием и ростом пузырьков пара, называют кипением.

Температура кипения жидкости зависит от внешнего давления, рода жидкости и наличия растворенных в ней газов.

Удельная теплота парообразования — это физическая величина, характеризующая определенное вещество и равная количеству теплоты, которую необходимо передать жидкости массой 1 кг, чтобы при неизменной температуре превратить ее в пар.

Удельную теплоту вычисляют по формуле $L=\frac{Q}{m}$ и измеряют в джоулях на килограмм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при неизменной температуре, равно количеству теплоты, которую выделяет пар, конденсируясь при неизменной температуре. Это количество теплоты вычисляют по формуле $Q=Lm$.

Контрольные вопросы

1. Что такое кипение? 2. Какие явления наблюдаются в жидкости, прежде чем она начинает кипеть? 3. Какая сила заставляет пузырек газа подниматься на поверхность жидкости? 4. Изменяется ли во время кипения температура жидкости? 5. От каких факторов зависит температура кипения жидкости? 6. На что расходуется энергия, получаемая жидкостью при кипении? 7. Что называют удельной теплотой парообразования? 8. По какой формуле можно вычислить количество теплоты, выделяющееся в ходе парообразования и конденсации жидкости?

Упражнение № 47

1. Удельная теплота парообразования воды равна 2,3 МДж/кг. Что это значит?
2. Чем можно объяснить, что начиная с момента закипания воды продолжительность варки овощей не зависит от интенсивности нагревания?
3. Известно, что температура кипения воды на вершине Эвереста составляет около 70 °С. Как вы думаете, почему?
4. Почему обжечься паром опаснее, чем кипятком?
5. Какое количество теплоты необходимо передать воде массой 10 кг, взятой при температуре кипения, чтобы превратить ее в пар? Сколько дров нужно сжечь для этого? Считайте, что вся энергия, выделяющаяся при сгорании дров, расходуется на испарение воды.
6. На сколько увеличится внутренняя энергия 10 кг льда, взятого при температуре 0 °С, в результате превращения его в пар с температурой 100 °С?
7. В кастрюлю с кипящей водой поместили открытую колбу с водой. Кипит ли вода в колбе?

Экспериментальные задания

1. Осторожно налейте в прозрачную стеклянную бутылку горячую воду. Покачайте воду в бутылке, увеличивая таким образом площадь свободной поверхности воды, а следовательно, скорость испарения. Образовавшийся пар вытеснит из бутылки часть воздуха. Плотно закупорьте бутылку, переверните и охладите ее дно с помощью холодной воды или снега. Вода в бутылке закипит. Объясните это явление.
2. Возьмите одноразовый шприц без иглы, приблизительно наполовину заполните его теплой водой. Плотно зажмите отверстие пальцем. Медленно вытягивайте поршень и наблюдайте за кипением воды (см. рисунок). Объясните наблюдаемое явление.

ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 4 «ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»

При изучении этого раздела вы познакомились с некоторыми тепловыми процессами, физическими величинами, характеризующими эти процессы, а также с такими фундаментальными понятиями физики, как температура и внутренняя энергия.

1. Вы узнали, что внутреннюю энергию можно изменить двумя способами.

СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

Выполнение работы

- Если над телом выполняется работа, то его внутренняя энергия увеличивается
- Если тело выполняет работу, то его внутренняя энергия уменьшается

Теплопередача

- Энергия всегда передается от тела с большей температурой телу с меньшей температурой
- Если температуры тел равны, то теплообмена не происходит

Теплопроводность

Энергия передается через вещество, но без перемещения вещества

Конвекция

Энергия передается потоками жидкости или газа

Излучение

Энергия передается электромагнитными волнами

2. Вы узнали, что изменение внутренней энергии в процессе теплопередачи характеризует физическая величина — **количество теплоты** Q. Единица количества теплоты в СИ — джоуль.

3. Вы узнали об уравнении теплового баланса, который является выражением закона сохранения энергии при теплообмене.

УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

В изолированной системе, в которой внутренняя энергия тел изменяется только в результате теплопередачи, суммарное количество теплоты, отданное одними телами системы, равно суммарному количеству теплоты, полученному другими телами этой системы.

$$Q_1^- + Q_2^- + \ldots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \ldots + Q_n^+$$

4. Вы познакомились с физическими величинами, характеризующими тепловые свойства веществ:

Физическая величина	Символ для обозначения	Единица	Формула для определения
Удельная теплоемкость	c	$\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	$c = \frac{Q}{m\Delta t}$
Удельная теплота плавления	λ	$\frac{Дж}{кг}$	$\lambda = \frac{Q}{m}$
Удельная теплота парообразования	L	$\frac{Дж}{кг}$	$L = \frac{Q}{m}$

5. Вы убедились, что в процессе сгорания топлива выделяется энергия, и узнали, что эта энергия используется в работе как различных нагревательных устройств, так и тепловых двигателей.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ МАШИН

6. Вы познакомились с физическими величинами, характеризующими топливо, нагревательные устройства и тепловые двигатели.

Физическая величина	Символ для обозначения	Единица	Формула для определения
Удельная теплота сгорания топлива	q	$\frac{Дж}{кг}$	$q = \frac{Q}{m}$
КПД нагревателя	η	%	$\eta = \frac{Q_{полезн}}{Q_{полн}} \cdot 100\,\%$
КПД теплового двигателя	η	%	$\eta = \frac{A_{полезн}}{Q_{полн}} \cdot 100\,\%$

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 4 «ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»

Часть 1. Внутренняя энергия. Теплопередача. Тепловые двигатели

Задания 1–4 содержат только один правильный ответ.

1. *(1 балл)* В каком случае уменьшается внутренняя энергия тела?

   а) тело нагревают; в) охлаждают;
   б) подбрасывают вверх; г) расплавляют.

2. *(1 балл)* На рисунке схематически изображено положение поршня и клапанов во время работы двигателя внутреннего сгорания. Какому такту работы двигателя соответствует рисунок?

   а) всасывание; в) рабочий ход;
   б) сжатие; г) выпуск.

3. *(2 балла)* Какое количество теплоты необходимо для нагревания 2 кг алюминия на 50 °С?

   а) 420 кДж; б) 100 кДж; в) 92 кДж; г) 920 Дж.

4. *(2 балла)* Сколько керосина нужно сжечь, чтобы получить 92 МДж теплоты? Считайте, что керосин сгорает полностью.

   а) 2 кг; б) 0,5 кг; в) 450 г; г) 100 кг.

5. *(3 балла)* В газовом нагревателе при сгорании 2,5 кг природного газа было получено 82,5 МДж полезной теплоты. Определите КПД нагревателя.

6. *(4 балла)* На сколько градусов можно нагреть 10 кг меди, использовав количество теплоты, выделяющееся при сжигании 100 г дров? Потерями энергии пренебречь.

7. *(5 баллов)* Автомобиль проехал 60 км и израсходовал 6 кг дизельного топлива. Какова сила тяги автомобиля, если КПД двигателя равен 30 %?

8. *(6 баллов)* Сколько нужно холодной воды при температуре 15 °С и горячей воды при температуре 65 °С, чтобы приготовить ванну на 250 л с температурой воды 35 °С?

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

Часть 2. Изменение агрегатного состояния вещества

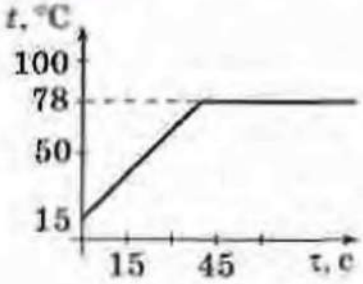
Задания 1–5 содержат только один правильный ответ.

1. *(1 балл)* Что происходит с температурой вещества при кристаллизации?
   а) снижается;
   б) повышается;
   в) остается неизменной;
   г) для одних веществ повышается, для других — снижается.

2. *(1 балл)* По какой из приведенных формул определяется удельная теплота парообразования?
   а) $L = Q/m$; б) $q = Q/m$; в) $\lambda = Q/m$; г) $c = Q/m\Delta t$.

3. *(2 балла)* Какое вещество можно расплавить в сосуде из свинца?
   а) железо; б) медь; в) олово; г) вольфрам.

4. *(2 балла)* В лабораторных условиях при нормальном атмосферном давлении проводили исследование зависимости температуры некой жидкости от времени ее нагревания. Результаты исследования представлены на графике. Используя таблицу температур кипения, определите, какую жидкость исследовали.



   а) вода; в) спирт;
   б) эфир; г) подсолнечное масло.

5. *(3 балла)* Какое количество теплоты необходимо израсходовать для плавления 5 кг алюминия при температуре плавления?
   а) 0,3 кДж; б) 3036 кДж; в) 607 кДж; г) 1965 кДж.

6. *(4 балла)* Какое количество теплоты выделяется при конденсации 0,1 кг эфира, взятого при температуре кипения, и последующем его охлаждении до 15 °C?

7. *(5 баллов)* В железной коробке массой 200 г содержится свинец массой 250 г при температуре 27 °C. Какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить этот свинец?

8. *(6 баллов)* В калориметр, где содержится вода при температуре 0 °C, впустили 42 г водяного пара при температуре 100 °C. После установления теплового равновесия температура в калориметре составила 50 °C. Вычислите массу воды в начале опыта. Потерями тепла пренебречь.

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

Что такое тепловые трубки

Вы уже знаете, что самые лучшие проводники тепла — металлы, а среди них «рекордсменами» являются медь, серебро, алюминий. И когда у вас спросят: «Как быстрее всего передать тепло от одного участка к другому?»,— вы, безусловно, вспомните, что если один конец медного (или алюминиевого, серебряного) стержня расположить в горячем месте, то второй его конец быстро нагреется. А можно ли передать тепло быстрее, чем с помощью этих металлов? Казалось бы, нет, ведь эти металлы недаром называют рекордсменами. Однако инженеры решили и такую задачу, а изобретенное устройство назвали тепловой трубкой.

Рис. 1

Объясним принцип ее действия (рис. 1). Возьмем запаянную трубку с небольшим количеством воды внутри. Верхний конец трубки поместим в горячее место. Капельки воды, оставшиеся на внутренней поверхности этой части трубки, начнут превращаться в пар. Молекулы пара «полетят» во все стороны, в том числе вниз, где и сконденсируются на участке холодного конца трубки. Величина теплоты испарения воды очень велика, поэтому передача тепла в трубке происходит чрезвычайно эффективно.

К сожалению, конструкция имеет очень существенный недостаток — «одноразовость»: капельки воды испаряются, и процесс передачи тепла прекращается. Для решения этой проблемы инженеры воспользовались так называемым капиллярным эффектом. (Вспомните: если край рубашки или платья попадет в воду, то мокрым становится не только сам край, но и ткань вокруг.)

Капиллярные структуры разместили вдоль внутренних стенок тепловой трубки (красная полоса на рис. 1), и трубка стала «многоразовой». В таком устройстве вода движется «по кругу»: на горячем конце трубки (вверху) вода испаряется, пар переносится вниз и конденсируется в холодной части трубки; образовавшаяся вода по капиллярам поступает вверх, снова испаряется и т. д.

Для решения конкретных задач трубки изготавливают из металла, а капилляры делают в виде проволочного жгута (рис. 2) или напыленных микрочастиц (рис. 3).

Тепловые трубки очень распространены. Так, тепловая трубка, подобная приведенной на рис. 2, применяется для охлаждения персональных компьютеров.

Неожиданное применение тепловые трубки нашли на Аляске. На рис. 4 показан участок газопровода, построенного в районе вечной мерзлоты. Во время перекачивания газа он разогревается, тепло передается трубе, а часть этого тепла, нагревая опору, уходит в землю. Если передавать много тепловой энергии, то участок вечной мерзлоты вокруг опоры растает и возникнет риск аварии. Конструкторы решили проблему, оснастив каждую опору тепловыми трубками (белые стержни на рис. 4), благодаря которым избыточное тепло уходит вверх, в атмосферу.

Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

Эффект «памяти формы»

Вы уже узнали о простейших превращениях вещества: твердое тело — жидкость; жидкость — газ. В 7 классе вы познакомились с четвертым состоянием вещества — плазмой. Однако это не все возможные преобразования. В XX ст. физики открыли чрезвычайно интересное явление, со временем получившее широкое применение. Речь идет о так называемом эффекте «памяти формы». В чем же заключается его суть?

Воспользуемся простым примером. Эффект «памяти формы» присущ некоторым сплавам, самый известный из которых — нитинол — сплав никеля и титана. Возьмем длинный стержень, изготовленный из нитинола, нагреем его и в горячем состоянии придадим любую форму, скажем, свернем в виде кольца. Потом дадим стрежню остыть до комнатной температуры и придадим ему другую форму, отличную от кольца,— например, распрямим его или свернем в виде любой другой фигуры. Если же теперь снова нагреть стержень, то он, как живое существо, «вспомнит» свою историю и самостоятельно приобретет первоначальную форму, то есть в данном случае согнется в кольцо. Более того, стержень надолго «сохраняет память» о своей первоначальной форме и при указанных условиях может принимать ее много раз. Это явление и называют эффектом «памяти формы». Его широко применяют в технике. Например, на рис. 5 показана конечность робота. «Пальцы», изготовленные из сплава, которому присущ эффект «памяти формы», были согнуты в горячем состоянии. «Суставы пальцев» представляют собой электрические нагреватели, и если пропустить через них ток, то «суставы» нагреются и «кисть» сожмется в кулак.

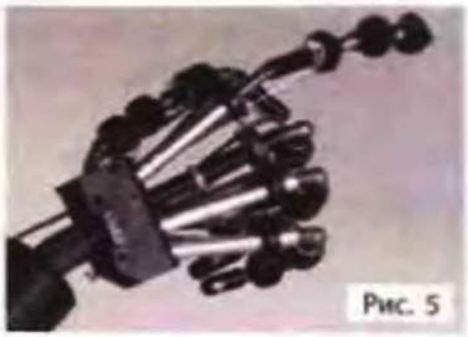


Рис. 5

ЭНЕРГИЯ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА. Теплоэнергетика. Способы сохранения энергетических ресурсов. Энергосберегающие технологии. Использование энергии человеком и охрана природы

?! Сегодня деятельность человека на каждом шагу нуждается в потреблении энергии. Приведем лишь несколько примеров. Подавляющее большинство людей на планете живет в умеренных широтах, где температура окружающей среды почти полгода достаточно низкая. Человек не залегает, как медведь, в зимнюю спячку, поэтому в холодное время года вынужден обогревать свое жилье. Энергия нужна также для движения транспорта, функционирования предприятий, для приготовления пищи и т. п.

К сожалению, энергии всегда не хватает, поэтому на протяжении всего своего существования человечество ищет способы ее экономии. Особенно это актуально в последнее время, когда стало заметным «дно» мировых запасов органического топлива (ископаемых ресурсов). Именно сейчас сформулированы общие принципы энергосбережения и разработаны технологии для воплощения этих принципов в жизнь посредством новейших устройств и оборудования.

Энергия и ее использование — тема обобщающего занятия.

1 Узнаем о роли теплоэнергетики в жизни человека

С древнейших времен определяющую роль в жизни человечества играет энергия, получаемая от сгорания топлива. На протяжении многих столетий пламя костра (печи, камина) было практически единственным источником энергии; другие источники (ветер и вода) занимали незначительное место.

Только в XX ст. *альтернативные* источники энергии стали играть заметную роль в энергетике. Примерами таких источников являются *гидроэлектростанции, атомные станции, ветрогенераторы, солнечные батареи* (рис. 1–4).

Альтернативные источники энергии, разработка и создание которых требует значительных затрат, возникли «не от хорошей жизни». Ведь именно в XX ст. резко возросло использование теп-

Рис. 1. Гидроэлектростанция (Днепрогэс)

Рис. 2. Общий вид атомной электростанции (Запорожская АЭС)

Рис. 3. Ветрогенератор

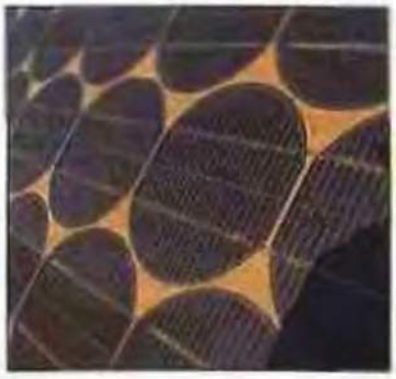


Рис. 4. Панель солнечных батарей

ловых машин — устройств, которые превращают энергию, полученную от сгорания топлива, в другие виды (электрическую, механическую). Прежде всего речь идет об автомобилях и других транспортных средствах, использующих продукты переработки *нефти* (как правило, бензин). Кроме того, для обогрева жилья и приготовления пищи широко применяют устройства, сжигающие *природный газ*. Этот же газ используют в производственных процессах (металлургия, химический синтез). Газ, нефть, *уголь* используют для производства электроэнергии на тепловых электростанциях.

Вы знаете, что указанные виды топлива являются *ископаемыми ресурсами* и их запасы *ограничены*. Миллионы автомобилей приблизительно за 100 лет «съели» значительное количество мировых запасов нефти. По оценкам специалистов, запасы природного газа исчерпаются на протяжении 40 ближайших лет. Немного больше разведанных запасов угля — на несколько сотен лет потребления.

2 Рассуждаем о сохранении энергетических ресурсов

Приведенные данные свидетельствуют о том, что через 10–15 лет обычные сейчас виды топлива (например, бензин) окажутся на грани исчезновения. Что же делать?

На сегодня учеными предложены *три направления решения проблемы будущего «энергетического голода»*.

1. *Экономия имеющихся ископаемых ресурсов*. Речь идет об использовании новых технических решений — *энергосберегающих технологий*.

2. *Постепенная замена топлива из ископаемых ресурсов топливом, получаемым из растений*. Сейчас уже используют два типа технологий производства растительного топлива: добыча заменителей бензина из растений, содержащих сахар, и переработка в дизельное топливо растительного масла. Расчеты отечественных специалистов показывают, что посевные площади страны при разумном использовании позволяют полностью обеспечить внутренние потребности в топливе.

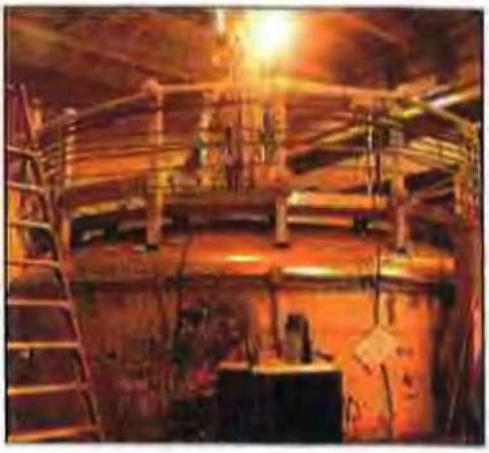


Рис. 5. Общий вид опытной термоядерной установки

3. Использование альтернативных источников энергии. Прежде всего речь идет о *ядерной* и *термоядерной* энергиях. Ископаемых запасов урана — топлива для атомных станций — хватит на несколько сотен лет. Во многих странах (Франция, Украина, США) этот вид производства электроэнергии является одним из ведущих. Так, в Украине на атомных станциях вырабатывают около половины всей электроэнергии.

Практически неисчерпаемым источником может стать термоядерная энергия (рис. 5). В Мировом океане запасов тяжелого водорода — топлива для термоядерных реакторов — хватит для обеспечения потребностей человечества на много тысячелетий.

3 Знакомимся с энергосберегающими технологиями

Из предыдущего курса физики вы уже знаете об одном из способов энергосбережения — замене традиционных лампочек новым типом *экономичных ламп*. Этот простой способ позволяет уменьшить потребление энергии для освещения почти в 10 раз (!). Вместе с тем «изюминка» современных принципов энергосбережения — *комплексное использование нескольких технологий*.

Для примера рассмотрим обычную квартиру. Наибольшее количество энергии, поступающей в нее,— это энергия, необходимая для обогрева. Соответственно именно с этого и нужно начинать экономить. Замена традиционных окон стеклопакетами, утепление двери, нанесение теплозащитного покрытия на внешние стены дома позволяют уменьшить потребление тепла на десятки процентов. Горячая вода поступает в батареи домов от теплоэлектростанций, обычно расположенных на расстоянии в несколько километров. Такой длинный путь теплоснабжения связан с большими потерями тепла. Если же обогреватель (электрический или газовый котел) установить прямо в квартире, то этот путь будет составлять лишь несколько метров — очевидно, что при прочих равных условиях тепла для обогрева потребуется значительно меньше.

Для экономии электрической энергии нужно применять вышеупомянутые экономичные лампы и электрические приборы с небольшим потреблением энергии. (Подумайте, за счет чего еще возможна экономия в домах.)

Мы привели простой пример комплексного подхода к энергосбережению в помещениях. Аналогичные принципы, только со значительно бóльшим количественным эффектом, успешно применяют и в производственных процессах.

4 Узнаем, как влияет теплоэнергетика на природу

Пока тепловые станции не имели большой мощности, а автомобилей было немного, негативные последствия работы тепловых машин не очень беспокоили человечество. Проблема стала актуальной во второй половине XX в., когда вместо обычных стали идти кислотные дожди, вызванные выбросами электростанций, люди начали задыхаться в автомобильных пробках и т. п.

Ученые предложили множество технических решений этих проблем. В качестве примера приведем те из них, которые касаются уменьшения выбросов бензиновых двигателей:

— удаление из бензина ядовитых соединений свинца;

— «дожигание» с помощью специальных устройств угарного газа до менее вредного углекислого газа;

— использование гибридных автомобилей с двумя двигателями — электрическим и бензиновым. Экологически чистый электрический мотор используется в городе (где много автомобилей), а бензиновый — за городом (где загрязнение воздуха не так опасно);

— создание экологически чистых электромобилей — этих настоящих автомобилей будущего (рис. 6).

Для человечества существует еще одна большая проблема. Дело в том, что во время работы тепловых машин выделяется углекислый газ (CO_2). По оценкам ученых, за 200 лет интенсивной работы тепловых машин в атмосферу было выброшено около одного триллиона (10^{12}) тонн CO_2. Это огромное количество углекислого газа вызвало так называемый *парниковый эффект*. Разберемся с этим подробнее. Почему это произошло?

Как вы знаете, Солнце не только освещает, но и обогревает Землю. Еще сто лет назад получаемое Землей тепло практически полностью излучалось (возвращалось) в космос. После того как в верхних слоях атмосферы накопилось огромное количество углекислого газа, этот газ стал своеобразным «зеркалом» для излучения с поверхности Земли. В результате часть энергии задерживается в атмосфере и нагревает ее. Из-за парникового эффекта средняя температура поверхности Земли повысилась на 0,6 °С. Но даже это небольшое нагревание уже привело, по мнению многих ученых, к глобальным изменениям климата. Если же средняя температура поверхности Земли повысится на 2 °С, то неминуемыми станут глобальные катаклизмы:

Рис. 6. Последние модели электрических автомобилей внешне совершенно не отличаются от своих «бензиновых собратьев»

таяние ледников, подъем уровня Мирового океана, затопление прибрежных городов и др.

Во избежание таких катастрофических последствий, в 1997 г. в г. Киото (Япония) правительства многих стран подписали так называемый Киотский протокол. Согласно этому протоколу для каждой страны мира определен максимальный объем выбросов CO_2. Если этот объем превышен, то страна-нарушитель платит штраф, который используется для снижения уровня выбросов.

В июле 2008 г. страны «большой восьмерки» достигли соглашения по уменьшению до 2050 г. вредных выбросов в атмосферу на 50 %.

Подводим итоги

Нефть, природный газ и уголь — это ископаемые ресурсы, запасы которых исчерпаемы, ограничены. Быстрое увеличение количества тепловых машин привело к необратимому исчезновению значительной части ископаемых ресурсов.

Основные направления преодоления энергетического кризиса:

— экономия имеющихся ископаемых ресурсов;

— постепенная замена топлива из ископаемых ресурсов топливом, получаемым из растений;

— использование альтернативных источников энергии, прежде всего ядерной и термоядерной энергии.

Использование новейших технологий позволяет уменьшить потребление тепловой энергии в несколько раз.

Тепловые источники энергии (особенно в большом количестве) оказывают вредное воздействие на окружающую среду. В соответствии с международным соглашением (Киотский протокол) количество вредных выбросов для каждой страны ограничено.

Контрольные вопросы

1. Какие источники энергии издавна использует человечество? 2. Какие существуют типы альтернативных источников энергии? 3. Какова причина необратимого уменьшения ископаемых ресурсов? 4. Перечислите основные направления преодоления энергетического кризиса. 5. Приведите примеры энергосберегающих технологий. 6. Как влияют тепловые источники энергии на окружающую среду? 7. Что такое Киотский протокол?