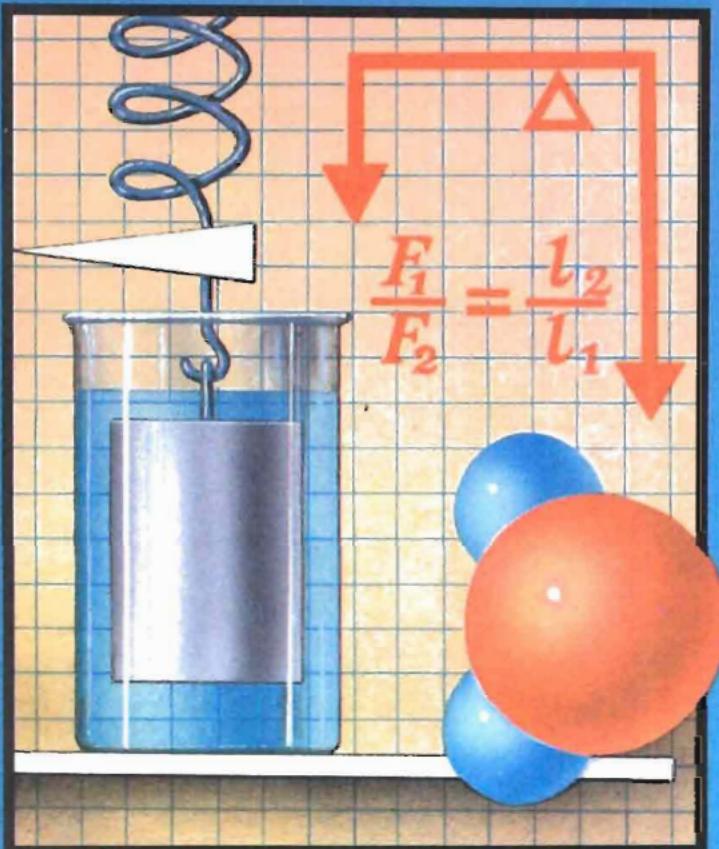




С.В. Громов
Н.А. Родина

ФИЗИКА



7



•Просвещение•



$$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$$

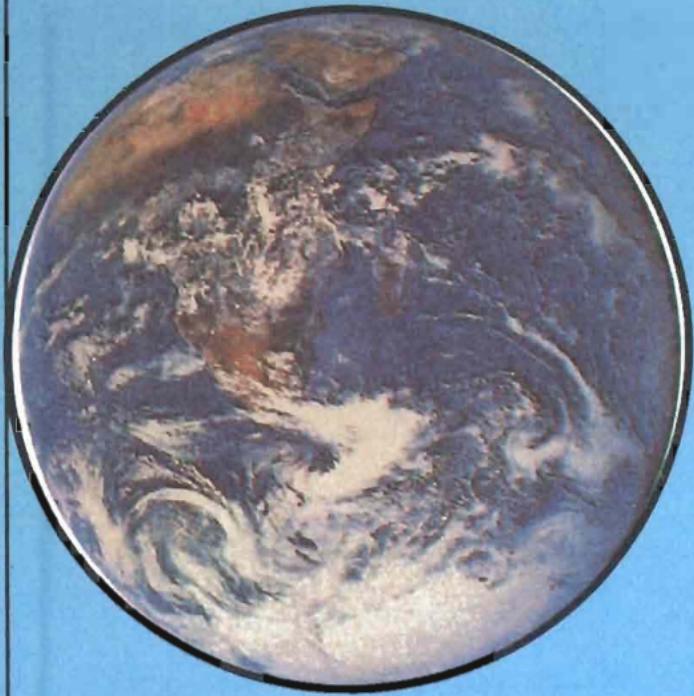
$$1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$$

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

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

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

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



1 мм = 0,001 м

1 см = 0,01 м

1 км = 1000 м

1 т = 1 000 кг

1 г = 0,001 кг

1 мг = 0,000 001 кг

С.В. Громов
Н.А. Родина

ФИЗИКА

УЧЕБНИК ДЛЯ 7 КЛАССА
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

*Допущено
Министерством образования
Российской Федерации*

3-е издание

ФГУП
«Медиа-
Системы»

МОСКВА
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
2001

УДК 373.167.1:53

ББК 22.3я72

Г87

Используемые обозначения

v — скорость	g — ускорение свободного падения
s — путь	A — работа
t — время	N — мощность
m — масса	p — давление
ρ — плотность	S — площадь
V — объем	h — высота
F — сила	l — длина
P — вес	

Громов С. В.

Г87 Физика: Учеб. для 7 кл. общеобразоват. учреждений/
С. В. Громов, Н. А. Родина. — 3-е изд. — М.: Просвещение,
2001. — 158 с.: ил. — ISBN 5-09-010349-6.

Учебник написан по программе курса физики для 7—9 классов 9-летней (базовой) школы. Он содержит необходимый теоретический материал с учетом возрастных особенностей учащихся и достаточное количество вопросов, заданий, упражнений, а также примеры решения основных типов задач, тем самым полностью обеспечивая учебный процесс.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

© Издательство «Просвещение», 1999

© Художественное оформление.

Издательство «Просвещение», 1999

Все права защищены

ISBN 5-09-010349-6

§ 1. Что изучает физика

Учебник, который вы открыли, называется «Физика». Этую новую для вас науку вы будете изучать до окончания школы.

Знакомство с физикой не заканчивается в школе. Есть специальные институты, в которых готовят ученых-физиков. Но физика нужна не только ученым — она нужна всем: рабочим, врачам, инженерам, конструкторам. Знание физики делает человека более умным и более сильным, он перестает быть беспомощным перед стихиями природы, он начинает понимать мир, в котором живет.

Только зная физику, можно проектировать и строить дома, заводы, машины, электростанции. Чтобы создавать радиоприемники, автомобили, космические аппараты, даже просто одежду и продукты питания, надо знать физику.

Например, очки, телескопы, фотоаппараты и видеокамеры можно было сделать только потому, что физики изучили, как распространяется свет в воздухе и стекле. Конструирование и изготовление кораблей, самолетов, воздушных шаров основано на знании закономерностей, которым подчиняются жидкости, газы и движущиеся в них тела.

Без знания физики нельзя было бы сделать ни часы, ни телефон, ни пылесос, ни телевизор, и мы были бы лишены многих полезных вещей, которые помогают нам готовить и сохранять пищу, убирать квартиру, слушать музыку и т. д.

Что же изучает физика?

Физика — наука о природе. Но в природе происходит очень много разных изменений или явлений. Какие же из них изучает физика? К физическим явлениям относят:

1) механические явления (например, движение самолетов и автомобилей, качание маятников и течение жидкостей по трубам, обращение Земли вокруг Солнца и орбитальной станции вокруг Земли);

2) электрические явления (например, притяжение и отталкивание незаэлектризованных тел, электрический ток и т. д.);

3) магнитные явления (например, действие магнитов на железо, магнитное взаимодействие токов, влияние Земли на стрелку компаса и т. д.);

4) оптические явления (распространение света в различных средах, отражение света от зеркал, свечение различных источников и т. д.);

5) тепловые явления (таяние льда, кипение воды, образование снега, тепловое расширение металлов, действие электронагревательных приборов и т. д.);

6) атомные явления (например, взрывы атомных бомб и процессы, происходящие в недрах звезд).

Все эти явления свойственны неживой природе. Но многие из них могут происходить и внутри живых организмов. Так, например, влага поднимается от земли к колосу по стеблю растения, кровь течет по сосудам в теле человека и животного, по нервным волокнам передаются сигналы от мозга.

Как же может одна наука — физика — разобраться в таком множестве явлений?

Причина состоит в удивительном свойстве науки — выводить общие законы на основании изучения простых явлений. Например, изучив свободное падение шариков разных размеров с разной высоты, можно установить законы, которые будут выполняться и при падении других тел.

По этой книге вы начнете изучать именно такие простые явления и постепенно научитесь обнаруживать в них важные закономерности.

В этом и состоит главная задача физики — открыть законы, которые связывают между собой различные физические явления, происходящие в природе, найти связь и причины явлений.

Например, было установлено, что причиной кругового обращения планет вокруг центра Солнечной системы является притяжение их Солнцем; причиной смены дня и ночи является осевое вращение Земли, освещаемой солнечным светом (рис. I); одной из причин возникновения ветра является неравномерный нагрев воздуха и т. д.

Но не только физика занимается изучением природы, есть и другие науки о ней, например география,

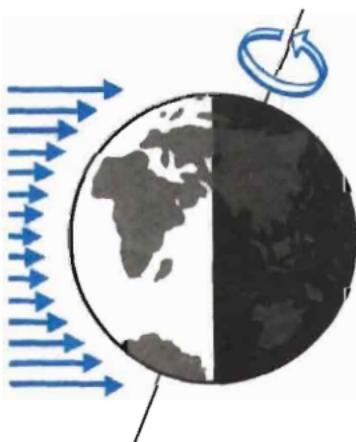


Рис. I

биология, химия. Каждая наука имеет свои цели и приемы изучения природы. Изучая физику, вы постепенно узнаете, чем отличается одна наука от другой и как в то же время они тесно связаны.

Науки о природе зародились давно. Первые пытались объяснить наблюдаемые явления природы учёные Древнего Китая, Индии и Древней Греции. В сочинениях древнегреческого учёного Аристотеля, жившего в IV в. до н. э., и появилось слово «физика» (от греческого слова «фюзис» — природа). В русский язык это слово ввёл в XVIII в. М. В. Ломоносов, когда он издал в переводе с немецкого первый в России учебник физики.

В наше время изучение природы требует упорного труда многих учёных разных стран и народов. Их совместная работа позволяет человечеству продвигаться в исследованиях законов и явлений окружающего мира и обеспечивать прогресс общества.

- ??? 1. Почему изучать физику нужно не только учёным-физикам?
2. Что изучает физика? Приведите примеры физических явлений.
3. В чём состоит главная задача физики?



Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765)

§ 2. Некоторые физические термины

Чтобы рассказывать о физике, изучать её, приходится использовать специальные слова — *научные термины*.

Так, говоря о движении различных предметов: самолёта, человека, мяча и др.— физик часто может не считаться с тем, что именно движется, так как для изучения движения это во многих случаях несущественно. Тогда он говорит, что движется *физическое тело* (или просто *тело*), понимая под этим любой предмет. Например, несколько физических тел изображено на рисунке 2 —



Рис. 2

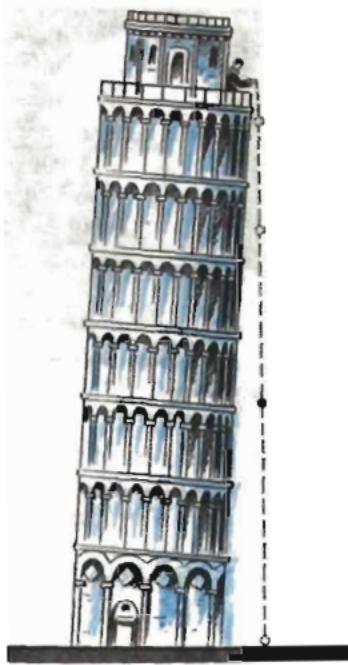


Рис. 3

это карандаш, водопроводный кран, капля воды, резиновый шарик, наполненный воздухом.

Все, что есть во Вселенной, называют **материей**. Материальны (т. е. действительно существуют в природе) растения, животные, планеты, звезды, различные **вещества**, из которых состоят физические тела: алюминий, вода, воздух и т. д. Термин «материя» означает все, что реально существует в окружающем нас мире и не зависит от нашего сознания. Но, например, наши мысли и сны нельзя считать материальными, так как они существуют лишь в нашем сознании.

Итак, мы ознакомились со следующими терминами: физическое тело, вещество, материя. В дальнейшем нам предстоит узнать много новых терминов. Знакомясь с ними, мы будем постигать язык науки.

- ???
1. Что в физике называют телами?
 2. Какие тела изображены на рисунке 2 и из каких веществ они состоят?
 3. Что означает термин «материя»?

§ 3. Наблюдения и опыты

Каждый знает, что стрелка компаса всегда указывает на север; если выпустить из рук предмет, он упадет на пол; если дотронуться до пламени, то можно обжечься и т. д.

Откуда мы это знаем? Откуда вообще появились знания? Многие из них добыты людьми из собственных повседневных **наблюдений**. Однако в физике, как и в некоторых других науках (например, в биологии, химии), знания добывают не только из наблюдений, но и из опытов. **Опыты** (или **эксперименты**) отличаются от простых наблюдений тем, что их проводят с определенной целью, по заранее обдуманному плану и во время проведения опыта обычно выполняют специальные измерения.

Например, наблюдая падение мяча, мы можем лишь заметить, что он падает вертикально вниз. А чтобы изучить, как изменяется

скорость тела в процессе падения, надо поставить специальные опыты. Легенда рассказывает, что итальянский ученый Г. Галилей (1564—1642), чтобы изучить, как происходит свободное падение тел, поднимался на знаменитую наклонную башню и сбрасывал оттуда разные шары (рис. 3). Наблюдая за их падением и выполняя при этом необходимые измерения (например, определяя время падения), он установил законы падения тел.

Итак, источником физических знаний являются наблюдения и опыты.

- ???
1. Каким образом мы получаем знания о явлениях природы?
 2. Чем отличаются опыты от наблюдений?

§ 4. Физические величины и их измерение

Опыты (или эксперименты), осуществляемые учеными, как правило, сопровождаются измерениями. Характеристики тел или процессов, которые могут быть измерены на опыте, называют **физическими величинами**. Физическими величинами являются объем, температура, скорость, масса, вес и т. д.

У каждой физической величины есть своя *единица*. Например, в принятой многими странами Международной системе единиц (сокращенно СИ, что значит: система интернациональная) основной единицей длины считается метр (1 м), единицей времени — секунда (1 с).

На практике используются также *кратные единицы*, которые в 10, 100, 1000 и т. д. раз больше, и *дольные единицы*, которые в 10, 100, 1000 и т. д. раз меньше принятых единиц. Для обозначения кратных и дольных единиц используются специальные приставки: мега (М), кило (к), милли (м), санти (с) и др. (табл. 1).

Таблица 1

Приставка	Множитель	Приставка	Множитель
мега (М)	1 000 000	микро (мк)	0,000001
кило (к)	1000	милли (м)	0,001
гекта (г)	100	санти (с)	0,01

Например:

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}, \quad 1 \text{ мс} = 0,001 \text{ с.}$$

Для измерения физических величин и проведения опытов

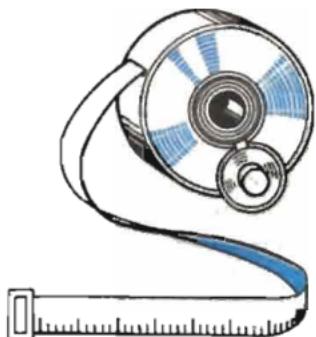


Рис. 4

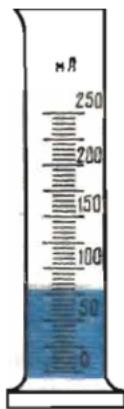


Рис. 5

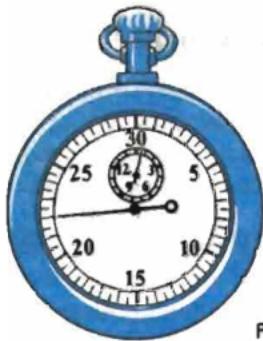
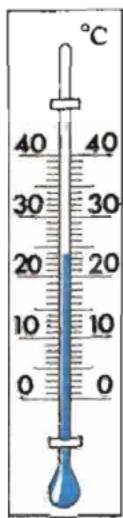


Рис. 6



Рис. 7



нужны различные физические приборы. Некоторые из них достаточно просты. Таковы, например, рулетка (рис. 4) и измерительный цилиндр (мензурка), применяемый для измерения объема жидкости (рис. 5). Но есть и более сложные приборы: секундомер (рис. 6), термометр (рис. 7) и др.

По мере развития физики и техники приборы совершенствовались и усложнялись.

У большинства измерительных приборов имеется шкала, т. е. на них нанесены при помощи штрихов деления и написаны значения величин, соответствующие делениям. Интервалы между штрихами, около которых написаны числовые значения, могут быть дополнительно разделены на несколько делений, не обозначенных числами. Но несложно установить, какому значению величины соответствует каждое самое малое деление.

Рассмотрим для примера линейку — прибор для измерения длины. Расстояния между штрихами, обозначенными 1 см, 2 см, 3 см и т. д., разделены на 10 одинаковых делений. Найдя отношение $1 \text{ см}/10$, мы установим, что каждое деление, т. е. расстояние

между двумя ближайшими штрихами, соответствует 1 мм. Эта величина называется ценой деления прибора.

Прежде чем измерять физическую величину каким-либо прибором, нужно обязательно определить цену деления этого прибора.

Чтобы определить цену деления, нужно найти два ближайших штриха шкалы, около которых написаны числовые значения. Затем из большего значения вычесть меньшее и полученное число разделить на число делений, находящихся между ними.

Определим, например, цену деления секундомера, изображенного на рисунке 6. Используем любые два штриха, около которых нанесены значения измеряемой величины (времени), например штрихи с числами 20 с и 25 с. Интервал между этими штрихами разделен на 10 делений. Значит, цена одного деления равна:

$$\text{цена деления} = \frac{25 \text{ с} - 20 \text{ с}}{10} = 0,5 \text{ с.}$$

Зная цену деления, мы теперь можем определить, какое время показывает рассматриваемый секундомер:

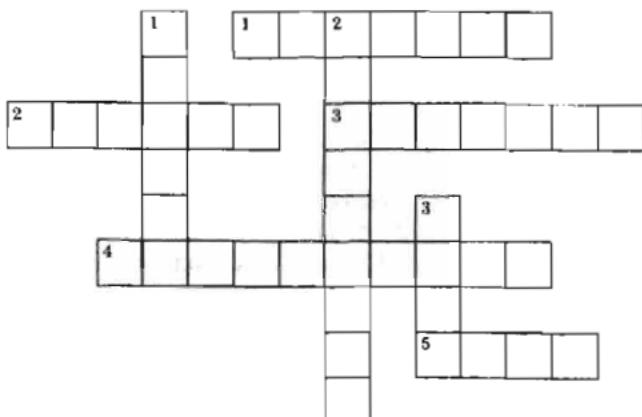
$$\text{время} = 20 \text{ с} + 4 \cdot 0,5 \text{ с} = 22 \text{ с.}$$

Итак, стрелка секундомера, изображенного на рисунке 6, показывает 22 с.

- ???
1. Приведите примеры физических величин.
 2. Какие физические приборы вы знаете?
 3. Что нужно сделать, чтобы определить цену деления измерительного прибора?
 4. Какие из приведенных ниже терминов обозначают физические величины: дом, глубина озера, высота дома, объем воды, холод, скорость поезда, автомобиль, длинная линейка?

:

КРОССВОРД «ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ — 1»



По горизонтали: 1. Изменение в природе. 2. Наука о природе. 3. Все, что существует во Вселенной. 4. Древнегреческий ученый, в сочинениях которого впервые появилось слово «физика». 5. Источник знаний.

По вертикали: 1. Устройство, с помощью которого измеряют физическую величину. 2. Русский ученый, издавший в России первый учебник физики. 3. Любой предмет, изучаемый в физике.

§ 5. Механическое движение

Одним из самых простых физических явлений является механическое движение тел. Кто из вас не наблюдал, как движется автомобиль, летит самолет, идут люди и т. д.! Если, однако, спросить, движется ли сейчас здание, в котором вы находитесь, вы, наверное, ответите, что нет. И будете не правы!

А движется ли сейчас самолет, который вы видите в небе? Если вы уверены, что он движется, то снова заблуждаетесь! Но если вы скажете, что он покойится, то и в этом случае ваш ответ не будет верным.

Как же определить, движется то или иное тело или нет? Для этого нужно сначала понять, что такое механическое движение.

Механическим движением тела называется процесс изменения его положения относительно какого-либо другого тела, выбранного за тело отсчета.

Тело отсчета — это тело, относительно которого рассматривается положение остальных тел. Тело отсчета выбирают произвольно. Это может быть что угодно: Земля, здание, автомобиль, теплоход и т. д.

Чтобы судить о том, движется тело (например, самолет) или нет, надо сначала выбрать тело отсчета, а затем посмотреть, меняется ли положение рассматриваемого тела относительно выбранного тела отсчета. При этом тело может двигаться относительно одного какого-либо тела отсчета и одновременно с этим не двигаться по отношению к другому телу отсчета.

Например, человек, сидящий в поезде, движется относительно полотна железной дороги, но находится в покое относительно вагона поезда. Лежащий на земле камень покойится относительно Земли, но движется (вместе с Землей) относительно Солнца. Самолет в небе движется относительно облаков, но поконится относительно сидящего в кресле пилота.

Вот почему, не указав тело отсчета, нельзя говорить о том, движется данное тело или нет. Без указания тела отсчета любой данный вами ответ будет лишен смысла.

Покоится ли здание, в котором вы сейчас находитесь? Ответ на этот вопрос зависит от выбора тела отсчета. Если телом отсчета является Земля, то да, покоится. Но если телом отсчета является проезжающий мимо здания автомобиль, то относительно него здание будет двигаться.

Какую роль играют размеры тела при описании его движения? В некоторых случаях без указания размеров тела и его частей обойтись нельзя. Когда, например, автомобиль въезжает в гараж, то размеры гаража и автомобиля для его владельца будут играть достаточно важную роль. Но есть и много таких ситуаций, когда размеры тела неважны. Если, например, тот же автомобиль движется из Москвы в Санкт-Петербург и требуется рассчитать время движения автомобиля, то нам будет безразлично, каковы у него размеры.

Если размеры тела много меньше расстояний, характерных для рассматриваемого в задаче движения, то размерами тела пренебрегают и тело представляют в виде **материальной точки**. Словом «материальная» подчеркивается ее отличие от геометрической точки. Геометрическая точка не обладает никакими физическими свойствами. Материальная же точка может обладать массой, электрическим зарядом и некоторыми другими характеристиками.

В современной механике (теория движения тел) материальные точки иначе называют **частицами**. Мы в дальнейшем будем использовать оба эти термина. Иногда, говоря о механическом движении частиц, мы будем использовать термин «тело», но при этом не следует забывать, что это тело рассматривается в таких условиях, когда его можно принять за материальную точку.

Перемещаясь из одного места в другое, частица (или материальная точка) движется по некоторой линии. Линию, по которой движется частица, называют **траекторией**.

Траектории могут иметь разную форму. О форме траектории иногда удается судить по видимому следу.



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

оставляемому движущимся телом. Такие следы иногда оставляют пролетающие самолеты или проносящиеся в ночном небе метеоры (рис. 8).

Форма траектории зависит от выбора тела отсчета. Например, относительно Земли траектория движения Луны представляет собой окружность, а относительно Солнца — линию более сложной формы (рис. 9).

В дальнейшем движение всех тел (если не оговорено противоположное) мы будем рассматривать относительно Земли.

Траектории движения разных тел могут отличаться друг от друга не только формой, но и длиной.

Длина траектории, по которой двигалось тело, называется пройденным путем.

На рисунке 10 штриховой линией показана траектория лыжника, прыгающего с трамплина. Длина траектории OA есть путь, пройденный лыжником за время спуска с горы.

Когда измеряют путь, пользуются единицей пути. Единицей пути является единица длины — метр (1 м). На практике используются и другие единицы длины, например:

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}, 1 \text{ дм} = 0,1 \text{ м}, 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}, 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}.$$

- ???
- Что такое механическое движение?
 - Какое тело называют телом отсчета?
 - Почему нужно указывать, относительно какого тела отсчета происходит движение?
 - В каких случаях тело можно рассматривать как материальную точку?
 - Как иначе называется материальная точка?
 - Что такое траектория?
 - Чем отличается путь от траектории?
 - Что на самом деле движется: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли?
 - Кто находится в движении: пассажир, едущий в автобусе, или человек, стоящий у автобусной остановки?
 - Можно ли считать материальной точкой земной шар?

§ 6. Скорость

Проделаем опыт. Установим на тележку капельницу (рис. 11). Из капельницы через одинаковые промежутки времени падают капли окрашенной жидкости. Если присоединить к тележке груз (как это показано на рисунке 11), то при определенной его величине расстояния между следами, оставленными каплями на бумаге (при движении тележки), могут оказаться равными. Это означает, что тележка за одинаковые промежутки времени проходит равные пути.

Повернув кран капельницы так, чтобы капли падали чаще, повторим опыт. Следы капель и в этом случае оказываются на равных расстояниях друг от друга, хотя и меньших, чем в первом опыте. А это значит, что и за меньшие одинаковые промежутки времени тележка проходит одинаковые пути.

Если какое-нибудь тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути, то его движение называют **равномерным**.

Быстроту движения характеризуют физической величиной, называемой **скоростью**. Известно, что самолет движется быстрее автомобиля, а искусственный спутник Земли — быстрее самолета.

Скорость тела при равномерном движении показывает, какой путь проходит тело за единицу времени. Например, если за каждый час пешеход проходит 3 км, а самолет пролетает 900 км, то говорят, что скорость пешехода 3 км/ч, а скорость самолета 900 км/ч.

Если же известно, что тот же пешеход за каждые два часа проходит 6 км, то, для того чтобы узнать, какой путь он проходит за 1 ч, следует эти 6 км разделить на 2 ч. При этом мы снова получим 3 км/ч.

Итак, чтобы определить скорость тела при равномерном движении, надо пройденный телом путь разделить на время движения, т. е.

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

Обозначим все величины, входящие в это выражение, латинскими буквами:

s — путь, v — скорость, t — время.

Тогда формулу для нахождения скорости можно представить в следующем виде:

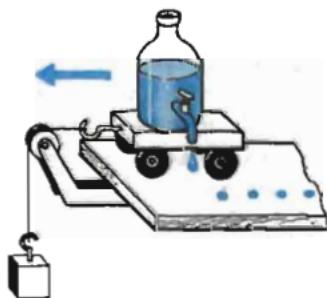


Рис. 11

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

(6.1)

В СИ за единицу скорости принимают скорость такого равномерного движения, при котором движущееся тело за 1 с проходит путь, равный 1 м. Этую единицу обозначают $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ или 1 м/с (читается «метр в секунду»).

На практике часто применяют другую единицу скорости: 1 км/ч . Найдем связь между разными единицами скорости. Так как $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$, а $1 \text{ ч} = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ с}$, то мы можем записать:

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

Рассмотрим пример. Пусть требуется выразить скорость самолета, равную 720 км/ч , в метрах в секунду. Переводя километры в метры, а час в секунды, получаем

$$720 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 720 \cdot \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

При равномерном движении числовое значение скорости не изменяется. Если, например, скорость тела равна 60 км/ч , то это значение будет оставаться таким же на протяжении всего времени движения.

Но, кроме своего числового значения, скорость имеет и свое направление. Поэтому на рисунках скорость тела изображают в виде стрелки (рис. 12). Стрелка указывает направление скорости (а следовательно, и движения) тела.



Рис. 12

Величины, имеющие направление в пространстве, называют **векторными величинами** или просто **векторами**. Скорость — величина векторная. Векторной величиной, как мы увидим позже, является также сила. С другой стороны, такие величины, как масса, путь, объем, векторами не являются: они не имеют направления в пространстве и характеризуются лишь числовым значением.

В таблице 2 приведены значения некоторых скоростей, встречающихся в природе.

Таблица 2

Скорости движения, м/с

Улитка	0,0014	Звук в воздухе (при 0 °C)	331
Муха	5	Луна вокруг Земли	1000
Скворец	20	Земля вокруг Солнца	30 000
Страус	22	Свет и радиоволны	300 000 000

Не все указанные в таблице 2 движения являются равномерными. Лишь звук, свет и радиоволны при определенных условиях распространяются с постоянной скоростью. Скорости остальных тел меняются в процессе движения. Поэтому для них указаны средние или наибольшие значения, которые могут быть достигнуты этими телами.

Движения, при которых скорость тела на разных участках траектории различна, называются **неравномерными**.

Неравномерные движения характеризуют **средней скоростью**. Средняя скорость неравномерного движения находится так же, как и скорость равномерного движения, т. е. пройденный телом путь делится на время движения:

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

Только полученное при этом значение может не совпадать со скоростью движения тела на отдельных участках траектории. При неравномерном движении тело на одних участках имеет меньшую скорость, на других — большую. Например, поезд, отходящий от станции, начинает двигаться все быстрее и быстрее. Подъезжая к станции, он, наоборот, замедляет свое движение.

Лишь при равномерном движении скорость тела на протяжении всей траектории имеет неизменное числовое значение.

Зная скорость и время равномерного движения тела, можно

вычислить пройденный телом путь. Из формулы (6.1) следует, что

$$s = vt. \quad (6.2)$$

Итак, чтобы найти путь, пройденный при равномерном движении, надо скорость тела умножить на время движения.

Если же известны путь и скорость, то можно найти время движения. Из формулы (6.2) получаем

$$t = \frac{s}{v}. \quad (6.3)$$

Итак, чтобы найти время движения, надо путь, пройденный телом, разделить на его скорость.

???

1. Какое движение называют равномерным? 2. Что показывает скорость равномерного движения? 3. Как определяется скорость при равномерном движении? 4. Как находится пройденный путь, если известны скорость и время движения? 5. Как находится время движения, если известны путь и скорость движения? 6. Какое движение называют неравномерным? 7. Как нужно изменить условия опыта, изображенного на рисунке 11, чтобы движение тележки стало неравномерным? Как при этом изменятся расстояния между следами, оставляемыми падающими каплями? 8. Как находится средняя скорость? 9. Какие величины называют векторными? Как их изображают на рисунках?

△ Экспериментальные задания. 1. Определите среднюю скорость, с которой вы пробегаете 100 м. 2. Если у вас дома есть игрушечный заводной автомобиль, то, сделав необходимые измерения, найдите среднюю скорость, с которой он перемещается. Результаты измерений и вычислений запишите в тетрадь.

§ 7. Инерция

Предположим, что вы стоите перед домом. Можете ли вы «заставить» его двигаться? Думаете, что нет? Тогда вы ошибаетесь. Для того чтобы привести здание в движение, достаточно пойти самому. Если вы направитесь в сторону от дома, то он начнет от вас удаляться. Удаляться — значит двигаться. Здание начнет двигаться относительно вас.



Рис. 13

Например, лежащий на земле мяч начнет двигаться тогда, когда на него налетит другой мяч или по нему ударят ногой. В отсутствие действия других тел мяч не придет в движение относительно Земли и будет продолжать оставаться на своем месте.

Уменьшение скорости движущегося тела и его остановка тоже не происходят сами собой. Для этого также нужно действие других тел. Например, скорость пули, пролетающей через доску, уменьшается благодаря действию на нее доски; катящийся мяч останавливается вследствие трения о землю и т. д.

Изменение направления скорости также происходит под действием каких-либо тел. Например, брошенный мяч меняет направление своего движения при ударе о стену или руку. Быстро бегущий человек, чтобы обогнать дерево, хватается за него рукой (рис. 13).

Итак, для изменения скорости тела относительно Земли необходимо действие других тел.

А нужно ли действие других тел для поддержания скорости тела неизменной?

В IV в. до н. э. древнегреческий ученый Аристотель писал, что «всё движущееся необходимо бывает движимо чем-то». Это означает, что для поддержания движения необходимо постоянное действие какого-либо другого тела. Например, для того чтобы телега двигалась, ее постоянно должна тянуть лошадь. Перестанет тянуть — телега остановится. Причина движения кроется в действии, оказываемом на данное тело каким-либо другим телом,— так считал Аристотель и его последователи.

Научное наследство Аристотеля огромно. Оно состоит из многочисленных работ по логике, физике, философии, биологии,

Поставим вопрос по-другому. Можете ли вы заставить двигаться дом не относительно себя, а относительно какого-либо другого тела, например Земли, окружающих деревьев и т. д.? Вряд ли. Теперь для этого потребуется столь значительное действие, что у вас ничего не получится. А само собой здание относительно Земли двигаться не станет.

Тело, покоящееся относительно Земли, будет сохранять свое состояние покоя до тех пор, пока его не выведут из этого состояния другие тела.

психологии, истории, эстетике, этике, политике и др. Александр Македонский, которому довелось учиться у Аристотеля, так отзывался о своем учителе: «Я чту Аристотеля наравне с моим отцом, потому что если отцу я обязан жизнью, то Аристотелю — всем тем, что дает ей цену».

Авторитет Аристотеля был настолько высок, что его взгляды на причины движения тел оставались господствующими в науке на протяжении двух тысяч лет! И лишь в XVII в., в основном благодаря исследованиям Галилея, выяснилось, что теория Аристотеля ошибочна.

Было установлено, что равномерное и прямолинейное движение может происходить и в отсутствие действия каких-либо тел.

Почему же тогда останавливается телега, которую перестает тянуть лошадь? Она останавливается не потому, что не способна двигаться сама по себе, а потому, что ее движению мешает действие земной поверхности (трение о землю). Если бы сопротивления движению не было, то она продолжала бы двигаться с постоянной скоростью и без лошади. Кстати, одним из первых, кто это понял, был современник Аристотеля китайский философ Мо-цы. Уже тогда он писал: «Если нет противодействующей силы, движение никогда не приостановится. Это так же верно, как то, что бык — не лошадь». Однако учение этого философа просуществовало недолго. Уже во II в. до н. э. оно было полностью забыто.

Рассмотрим следующий опыт. На столе наклонно установлена доска. На поверхности стола насыпан песок. На наклонную доску ставят тележку и отпускают. Тележка, скатившись на стол и попав в песок, быстро останавливается (рис. 14, а). Причина остановки — сопротивление, оказываемое песком.

Уменьшим сопротивление, выровняв песок. Съехав с прежней высоты, тележка теперь, прежде чем остановиться, проедет большее расстояние (рис. 14, б). Если совсем убрать песок с пути тележки, то до остановки она пройдет еще большее расстояние (рис. 14, в). Следовательно, чем меньше действие другого тела на тележку, тем медленнее изменяется скорость ее движения, тем ближе ее движение к равномерному.

Как же будет двигаться тело, если на него совсем не будут действовать другие тела? Ответ на этот вопрос дал Галилей. Он писал: «Когда тело движется по горизонтальной плоскости, не встречая никакого



Галилей Галилео
(1564—1642)

сопротивления движению, то... движение его является равномерным и продолжалось бы бесконечно, если бы плоскость простиралась в пространстве без конца».

Свой вывод Галилей обосновал следующим образом: «При движении по наклонной плоскости вниз наблюдается ускорение, а при движении вверх — замедление. Отсюда следует, что движение по горизонтали является неизменным, ибо... оно ничем не ослабляется, не замедляется и не ускоряется».

Движение, не поддерживаемое никакими телами, называют **движением по инерции**.

Любое тело, выведенное какими-то телами из состояния покоя, после прекращения действия этих тел продолжает двигаться по инерции.

Движение по инерции лежит в основе принципа действия взрывателей артиллерийских снарядов. Когда снаряд, ударившись о препятствие, резко останавливается, взрывной капсюль, находящийся внутри снаряда, но не связанный жестко с его корпусом, продолжает двигаться по инерции. Когда он наскакивает на жало взрывателя, происходит взрыв.

В земных условиях из-за трения и сопротивления среды движение по инерции происходит с уменьшающейся скоростью. После выключения двигателя автомобиль продолжает двигаться, но его скорость становится все меньше и меньше, и через некоторое время он останавливается. После вылета из винтовки

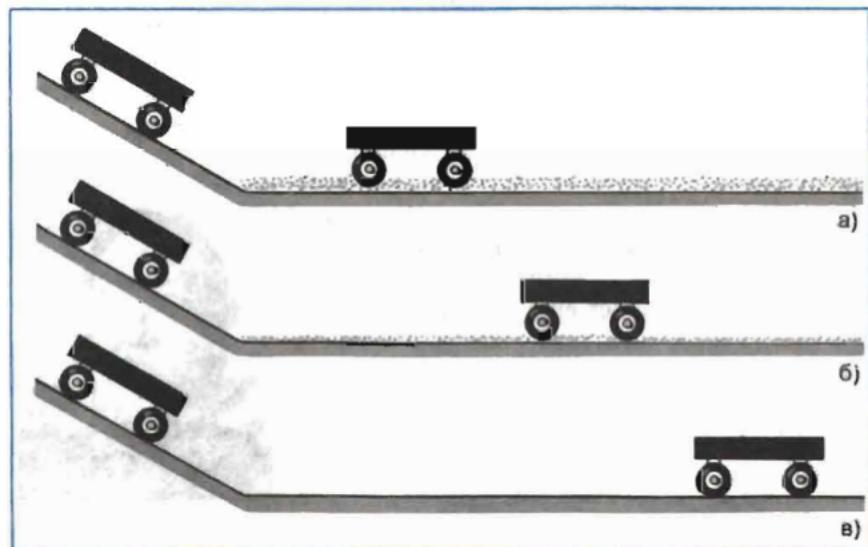


Рис. 14



Рис. 15

пуля движется по инерции, но из-за сопротивления воздуха и ее скорость постепенно уменьшается.

В отсутствие действия других тел движение по инерции является равномерным и прямолинейным, т. е. происходит со скоростью, которая не меняется ни по величине, ни по направлению. Именно так, например, двигалась бы ракета вдали от всех небесных тел после выключения двигателей. Она продолжала бы лететь с той скоростью, которая была ей сообщена до этого.

???

1. Какое движение называют движением по инерции? 2. Приведите примеры движения по инерции. 3. Рассматривая движение тела по абсолютно гладкой поверхности (без трения), Галилей пришел к выводу, что «если после падения тела по любой наклонной плоскости наступает подъем, то... оно поднимается до той же степени возвышения или высоты над горизонтом, ...и притом не только в том случае, когда плоскости имеют одинаковый наклон, но и в том, когда они образуют разные углы». К какому следствию можно прийти, если продолжить эти рассуждения, опираясь на рисунок 15? 4. На одном из банкетов полковник Циллергут, персонаж романа Я. Гашека «Похождения бравого солдата Швейка», рассказал среди прочих следующую историю: «Когда кончился бензин, автомобиль вынужден был остановиться.

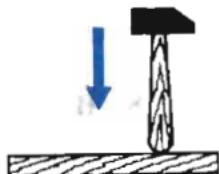
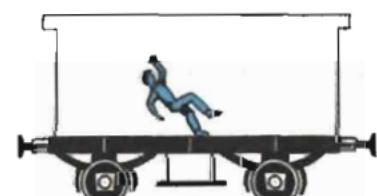


Рис. 16



а)



б)

Рис. 17

Это я тоже сам вчера видел. А после этого еще болтают об инерции, господа!.. Ну, не смешно ли?» Противоречит ли история, рассказанная полковником Циллергутом, представлению об инерции? Почему?

5. На рисунке 16 показан способ насаживания молотка на рукоятку. Объясните его.

6. В какую сторону падает споткнувшийся человек? поскользнувшийся человек? Почему?

7. Как изменилась скорость движения вагонов, изображенных на рисунках 17, а и 17, б: увеличилась или уменьшилась?

§ 8. Взаимодействие тел. Масса

Проделаем опыт. На рисунке 18, а изображена тележка с прикрепленной к ней упругой пластиной. Пластина согнута и связана нитью. Тележка находится в покое относительно стола. Начнет ли она двигаться, если пластина выпрямится? Для ответа на этот вопрос пережгем нить. Пластина резко выпрямляется, но тележка остается на прежнем месте (рис. 18, б).

Теперь поставим рядом с первой тележкой вторую (рис. 19, а). После пережигания нити обе тележки приходят в движение и разъезжаются в противоположные стороны. Пройденные ими пути оказываются разными (рис. 19, б). Это означает, что в процессе выпрямления пластины тележки приобрели разную скорость. Например, скорость левой тележки за это время могла возрасти от 0 до 40 см/с, а скорость правой тележки — от 0 до 20 см/с. Эти числа говорят о том, что скорость левой тележки изменилась в 2 раза быстрее, чем скорость правой.

Причиной изменения скоростей тележек послужило их действие друг на друга.

Действие тел друг на друга называют **взаимодействием**.

В результате взаимодействия скорости тел изменяются, причем у разных тел они изменяются по-разному.

Про тело, которое при взаимодействии медленнее изменяет свою скорость, говорят, что оно более инертно и имеет большую массу. А про тело, которое при этом быстрее изменяет свою скорость, говорят, что оно менее инертно и имеет меньшую массу.

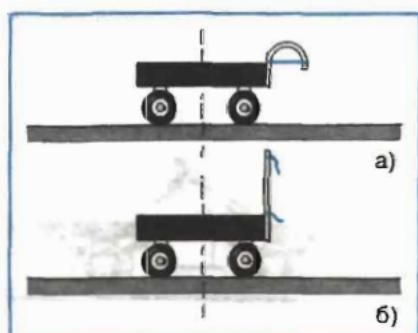


Рис. 18

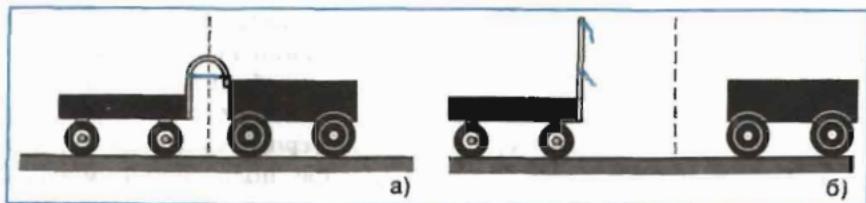


Рис. 19

Масса является физической величиной, характеризующей инертность тела. Чем больше масса тела, тем более оно инертно.

Понятие массы будет раскрываться по мере дальнейшего изучения физики. Пока же нужно запомнить, что каждое тело — человек, стол, Земля, капля воды — обладает массой.

Сравнивать массы тел можно по изменениям их скоростей при взаимодействии друг с другом.

Если два тела при взаимодействии друг с другом изменяют свои скорости одинаково, то их массы равны. Если же их скорости изменяются по-разному, то и массы у них различны.

В рассмотренном выше опыте (см. рис. 19) скорость левой тележки изменилась в 2 раза сильнее, чем скорость правой. Отсюда следует, что масса левой тележки в 2 раза меньше массы правой тележки.

За единицу массы в СИ принят килограмм (1 кг). Международный образец (эталон, или прототип) килограмма хранится во Франции, в г. Севре. Он изготовлен из платиново-иридиевого сплава и имеет форму цилиндра диаметром и высотой около 39 мм (рис. 20). С этого эталона изготовлены копии для других стран. В России, например, находится прототип килограмма № 12, в США — № 20.

На практике используются также и другие единицы массы — тонна, грамм, миллиграмм и т. д.:

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}, 1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг},$$

$$1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг}.$$

Существуют разные способы определения массы. Об одном из них, основанном на сравнении изменений скоростей, было уже сказано. Другой способ измерения массы — **взвешивание**. Это самый древний из известных способов. Изображения весов можно найти даже на египетских пирамидах, возраст которых составляет более четырех тысяч лет!

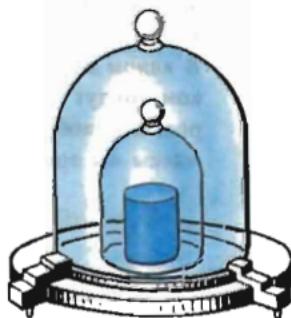


Рис. 20

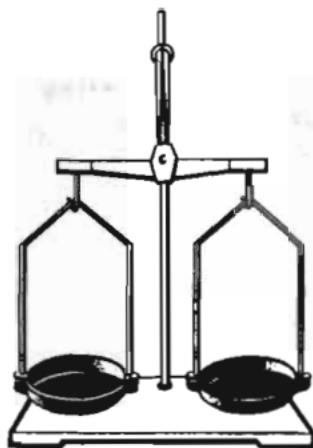


Рис. 21

Кстати, правильному взвешиванию и аккуратному обращению с весами всегда придавалось большое значение. Например, в одной из древнерусских грамот XII в. строго указывалось, что за неправильное пользование мерами и весами следует «казнить близко смерти, а имущество делить на три части: часть Софийской церкви, часть Ивановской и часть сотским и Новгороду».

Современные конструкции весов очень разнообразны. На рисунке 21 изображены *учебные весы*, позволяющие взвешивать предметы с массой от 10 мг до 200 г. Для определения массы в иных пределах используют

другие весы. Например, вагоны и автомашины взвешивают на *транспортных весах*, рассчитанных на нагрузку до 200 т, а тела, имеющие массу порядка 1 мг и меньше, — на так называемых *аналитических весах*.

Массу тел, недоступных взвешиванию (например, массу Земли, Солнца, а также мельчайших частиц вещества — атомов и молекул), определяют иными способами — путем измерения скоростей, а также других физических величин, входящих вместе с массой в различные законы физики.

???

1. Что называют взаимодействием? 2. В каком случае тело называют более инертным, а в каком — менее инертным? 3. Мерой чего является масса? 4. Какая из тележек, изображенных на рисунке 19, имеет большую массу? Почему? 5. Как называется единица массы в СИ? 6. Что представляет собой эталон массы? 7. Человек выпрыгивает из неподвижной лодки на берег. В каком случае скорости, полученные при этом лодкой и человеком, будут одинаковыми? В каком случае будет больше скорость, приобретенная человеком? 8. Какие способы определения массы вы знаете? В каких случаях они применяются?

§ 9. Плотность вещества

Тела, изготовленные из разных веществ, при одинаковых объемах имеют разные массы. Например, железо объемом 1 м³ имеет массу 7800 кг, а свинец того же объема — 13000 кг.

Физическую величину, показывающую, чему равна масса вещества в единице объема (т. е., например, в одном кубическом метре или в одном кубическом сантиметре), называют **плотностью** вещества.

Чтобы выяснить, как найти плотность данного вещества, рассмотрим следующий пример. Известно, что льдина объемом 2 м³ имеет массу 1800 кг. Тогда 1 м³ льда будет иметь массу, в 2 раза меньшую. Разделив 1800 кг на 2 м³, получим 900 кг/м³. Это и есть плотность льда.

Итак, чтобы определить плотность вещества, надо массу тела разделить на его объем:

$$\text{плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объем}}.$$

Обозначим величины, входящие в это выражение, буквами:

m — масса тела, V — объем тела, ρ — плотность тела

(ρ — греческая буква «ро»).

Тогда формулу для вычисления плотности можно записать в следующем виде:

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

Единицей плотности в СИ является **килограмм на кубический метр** (1 кг/м³). На практике плотность вещества выражают также в граммах на кубический сантиметр (г/см³). Для установления связи между этими единицами учтем, что

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}, 1 \text{ см}^3 = 0,000001 \text{ м}^3.$$

Поэтому

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{0,001 \text{ кг}}{0,000001 \text{ м}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Плотность одного и того же вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии различна. Например, плотность воды равна 1000 кг/м³, льда — 900 кг/м³, а водяного пара (при 0°C

и нормальном атмосферном давлении) — 0,59 кг/м³. Плотности других веществ можно узнать из таблиц 3—5.

Таблица 3

Плотности некоторых твердых тел¹

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

Таблица 4

Плотности некоторых жидкостей

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

¹ Плотности тел, указанные в таблицах 3—5, вычислены при нормальном атмосферном давлении и при температуре для газов 0°C , для жидкостей и твердых тел при 20°C .

Таблица 5

Плотности некоторых газов

Газ	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Газ	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Хлор	3,210	0,00321	Оксид углерода (II) (угарный газ)	1,250	0,00125
Оксид углерода(IV) (углекис- лый газ)	1,980	0,00198	Природный газ	0,800	0,0008
Кислород	1,430	0,00143	Водяной пар (при $t = 100^\circ\text{C}$)	0,590	0,00059
Воздух (при 0°C)	1,290	0,00129	Гелий	0,180	0,00018
Азот	1,250	0,00125	Водород	0,090	0,00009

- ???
- Что показывает плотность?
 - Что надо сделать, чтобы определить плотность вещества, зная массу тела и его объем?
 - Какие единицы плотности вы знаете? Как они соотносятся друг с другом?
 - Три кубика — из мрамора, льда и латуни — имеют одинаковый объем. Какой из них имеет наибольшую массу, какой — наименьшую?
 - Два кубика — из золота и серебра — имеют одинаковую массу. Какой из них имеет больший объем?
 - У какого из цилиндров, изображенных на рисунке 22, большая плотность?
 - Масса каждого из тел, изображенных на рисунке 23, равна 1 т. У какого из них меньше плотность?

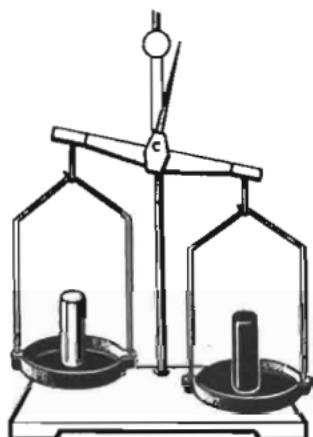


Рис. 22

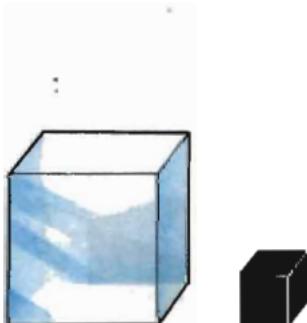


Рис. 23

§ 10. Расчет массы и объема тела

Для того чтобы определить плотность вещества, надо массу тела разделить на его объем:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10.1)$$

Массу тела можно определить с помощью весов. А как найти объем тела?

Если тело имеет форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 24), то его объем находится по формуле

$$V = abc.$$

Если же у него какая-то другая форма, то его объем можно найти методом, который был открыт древнегреческим ученым Архимедом в III в. до н. э.

Архимед родился в Сиракузах на острове Сицилия. Его отец, астроном Фидий, был родственником Гиерона, ставшего в 270 г. до н. э. царем города, в котором они жили.

До нас дошли не все сочинения Архимеда. О многих его открытиях стало известно благодаря более поздним авторам, в сохранившихся трудах которых описываются его изобретения. Так, например, римский архитектор Витрувий (I в. до н. э.) в одном из своих сочинений рассказал следующую историю:

«Что касается Архимеда, то изо всех его многочисленных и разнообразных открытий то открытие, о котором я расскажу, представляется мне сделанным с безграничным остроумием.

Во время своего царствования в Сиракузах Гиерон после благополучного окончания всех своих мероприятий дал обет по жертвовать в какой-то храм золотую корону бессмертным богам. Он условился с мастером о большой цене за работу и дал ему нужное по весу количество золота. В назначенный день мастер

принес свою работу царю, который нашел ее отлично исполненной; после взвешивания вес короны оказался соответствующим выданному весу золота.

После этого был сделан донос, что из короны была взята часть золота и вместо него примешано такое же количество серебра. Гиерон разгневался на то, что его провели, и, не находя способа уличить это воровство, попросил

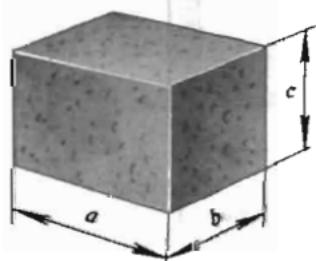


Рис. 24

Архимеда хорошенько подумать об этом. Тот, погруженный в думы по этому вопросу, как-то случайно пришел в баню и там, опустившись в ванну, заметил, что из нее вытекает такое количество воды, каков объем его тела, погруженного в ванну. Выяснив себе ценность этого факта, он, не долго думая, выскочил с радостью из ванны, пошел домой голым и громким голосом сообщал всем, что он нашел то, что искал. Он бежал и кричал одно и то же по-гречески: «Эврика, эврика! (Нашел, нашел!).»

Затем, пишет Витрувий, Архимед взял сосуд, доверху наполненный водой, и опустил в него золотой слиток, равный по весу короне. Измерив объем вытесненной воды, он снова наполнил сосуд водой и опустил в него корону. Объем воды, вытесненной короной, оказался больше объема воды, вытесненной золотым слитком. Большой объем короны означал, что в ней присутствует менее плотное, чем золото, вещество. Поэтому опыт, проделанный Архимедом, показал, что часть золота была похищена.

Итак, для определения объема тела, имеющего неправильную форму, достаточно измерить объем воды, вытесняемой данным телом. Располагая измерительным цилиндром (мензуркой), это сделать несложно.

В тех случаях, когда известны масса и плотность тела, его объем можно найти по формуле, вытекающей из формулы (10.1):

$$V = \frac{m}{\rho} : \quad (10.2)$$

Отсюда видно, что для определения объема тела надо массу этого тела разделить на его плотность.

Если, наоборот, объем тела известен, то, зная, из какого вещества оно состоит, можно найти его массу:

$$m = \rho V. \quad (10.3)$$

Чтобы определить массу тела, надо плотность тела умножить на его объем.

???

1. Какие способы определения объема вы знаете? 2. Что вам известно об Архимеде? 3. Как можно найти массу тела по его плотности и объему?



Архимед
(287—212 до н. э.)



Экспериментальное задание. Возьмите кусок мыла, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда, на котором обозначена его масса. Проделав необходимые измерения, определите плотность мыла.

§ 11. Сила

Мы знаем, что скорость тела относительно Земли изменяется тогда, когда на него действуют другие тела. Проиллюстрируем это новыми примерами.

Толкая вагонетку (рис. 25), ее приводят в движение. В этом случае скорость вагонетки изменяется под действием руки человека.

Опустим на воду пробку, на которой лежит железная скрепка. Магнит, притягивая скрепку, приводит ее и пробку в движение (рис. 26). В этом случае магнит — то тело, которое изменяет скорость скрепки и пробки.

При действии руки на шар (рис. 27, а) витки пружины начинают двигаться, и пружина сжимается. Отпустив ее, мы увидим, как пружина, распрымляясь, приводит в движение шар (рис. 27, б). Сначала действующим телом здесь была рука человека. Затем действующим телом стала пружина.



Рис. 25

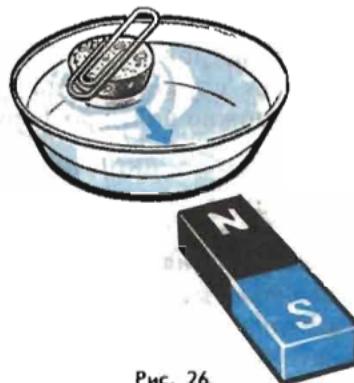
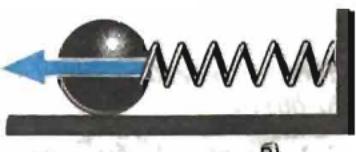


Рис. 26



а)



б)

Рис. 27

Во всех приведенных примерах причиной изменения скорости тела было действие, оказываемое на него другими телами.

Мерой этого действия является векторная физическая величина, называемая силой.

Как и другие векторные величины, сила характеризуется не только числовым значением, но и своим направлением. Стрелки, изображенные на рисунках 25—27, как раз и указывают это направление.

Силу обычно обозначают буквой F , однако есть и другие обозначения, о которых вы узнаете позже.

Если сила к телу не приложена ($F=0$), то это означает, что никакого действия на него не оказывается, и потому скорость такого тела относительно Земли не изменяется. Если же, наоборот, сила $F \neq 0$, то тело испытывает некоторое воздействие, и его скорость изменяется. При этом, чем больше сила F , тем значительное изменяется скорость тела относительно Земли.

Единицей силы в СИ является ньютон (1 Н). 1 Н — это сила, которая за 1 с изменяет скорость тела массой 1 кг на 1 м/с. Эта единица названа в честь великого английского ученого И. Ньютона (1642—1727).

На практике применяются также килоньютоны и миллиニュтоны:

$$1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н}, 1 \text{ мН} = 0,001 \text{ Н}.$$

- ???
- Что является причиной изменения скорости тел? Приведите примеры.
 - Что характеризует сила?
 - Что можно сказать о скорости тела, к которому не приложена никакая сила ($F=0$)?
 - Как называется единица силы?

§ 12. Сила тяжести

Почему мяч, брошенный в горизонтальном направлении (рис. 28), через некоторое время оказывается на земле? Почему камень, выпущенный из рук (рис. 29), падает вниз? Почему

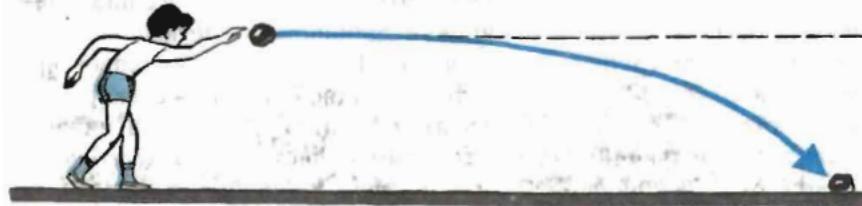


Рис. 28



Рис. 29



Рис. 30.

прыгнувший вверх человек вскоре снова оказывается внизу? У всех этих явлений одна и та же причина — притяжение Земли.

Земля притягивает к себе все тела: людей, деревья, воду, дома, Луну и т. д.

Сила притяжения к Земле называется **силой тяжести**. Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз. Обозначается она так:

$$F_t \text{ — сила тяжести.}$$

Когда тело под действием притяжения к Земле падает вниз, на него действует не только Земля, но и сопротивление воздуха. В тех случаях, когда сила сопротивления воздуха пренебрежимо мала по сравнению с силой тяжести, падение тела называют **свободным**.

Для наблюдения *свободного падения* различных тел (например, дробинки, перышка и др.) их помещают в стеклянную трубку (трубку Ньютона), из которой откачивают воздух. Если вначале все эти предметы будут находиться на дне трубки, то после ее быстрого переворачивания они оказываются сверху, после чего начинают падать вниз (рис. 30). Наблюдая за их падением, можно заметить, что и свинцовая дробинка, и легкое перышко достигают дна трубки *одновременно*. Пройдя за одинаковое время один и тот же путь, эти тела с одной и той же скоростью ударяются о ее дно. Происходит это потому, что сила тяжести обладает следующим замечательным свойством: *за каждую секунду она увеличивает скорость любого свободно падающего тела (независимо от его массы) всегда на одну и ту же величину*.

Измерения показывают, что вблизи поверхности Земли скo-

рость любого свободно падающего тела за каждую секунду падения возрастает на 9,8 м/с. Этую величину обозначают буквой g и называют **ускорением свободного падения**.

Зная ускорение свободного падения, можно найти силу, с которой Земля притягивает к себе любое, находящееся вблизи нее тело.

Чтобы определить силу тяжести, действующую на тело, надо массу этого тела умножить на ускорение свободного падения:

$$F_t = mg.$$

Из этой формулы следует, что $g = F_t/m$. Но F_t измеряется в ньютонах, а m — в килограммах. Поэтому величину g можно измерять в ньютонах на килограмм:

$$g = 9,8 \text{ Н/кг} \approx 10 \text{ Н/кг}.$$

С увеличением высоты над Землей ускорение свободного падения постепенно уменьшается. Например, на высоте 297 км оно оказывается равным не 9,8 Н/кг, а 9 Н/кг. Уменьшение ускорения свободного падения означает, что и сила тяжести по мере увеличения высоты над Землей также уменьшается. Чем дальше тело находится от Земли, тем слабее она его притягивает.

???

1. Что является причиной падения всех тел на землю? 2. К какую силу называют силой тяжести? 3. В каком случае падение тела называют свободным? 4. Чему равно ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли? 5. По какой формуле находится сила тяжести? 6. Что произойдет с силой тяжести, ускорением и временем падения при увеличении массы падающего тела в 2 раза? 7. Как изменяются сила тяжести и ускорение свободного падения при удалении от Земли?

△ **Экспериментальные задания.** 1. Возьмите в руки лист бумаги и отпустите его. Пронаблюдайте за его падением. Теперь скомкайте этот лист и снова отпустите. Как изменится характер его падения? Почему? 2. Возьмите в одну руку металлический кружок (например, монету), а в другую — бумажный кружок чуть меньшего размера. Одновременно отпустите их. Однаковое ли время они будут падать? Теперь возьмите в руку металлический кружок и сверху на него положите бумажный (рис. 31). Отпустите кружки. Почему теперь они падают одновременно?



Рис. 31

§ 13. Равнодействующая сила

Обычно на любое движущееся тело действует не одно, а сразу несколько окружающих его тел. Например, во время падения тела на него действует не только Земля (сила тяжести), но и воздух (сила сопротивления).

В тех случаях, когда на частицу (материальную точку) действует несколько тел, их общее действие характеризуют равнодействующей силой.

Для нахождения равнодействующей силы существуют простые правила.

1. Если к телу приложены две силы F_1 и F_2 , направленные по одной прямой в одну сторону, то их равнодействующая F находится по формуле

$$F = F_1 + F_2.$$

При этом направление равнодействующей силы совпадает с направлением приложенных сил (рис. 32).

2. Если к телу приложены две силы F_1 и F_2 , направленные по одной прямой в противоположные стороны, то при $F_1 > F_2$ их равнодействующая F находится по формуле

$$F = F_1 - F_2.$$

Направление равнодействующей силы в этом случае совпадает с направлением большей из приложенных сил (рис. 33). Если при этом $F_1 = F_2$, то их равнодействующая F окажется равной нулю. В этом случае покоящееся тело так и будет покониться, а движущееся тело будет совершать равномерное и прямолинейное движение с той скоростью, которая у него была.

Про две силы, равные по величине и направленные вдоль одной прямой в противоположные стороны, говорят, что они *уравновешивают* или *компенсируют* друг друга. Равнодействующая F таких сил всегда равна нулю и потому изменить скорость тела не может.

Для изменения скорости тела относительно Земли необходимо, чтобы равнодействующая всех приложенных к телу сил была отлична от нуля. В том случае, когда тело движется в направлении равнодействующей силы, его скорость возрастает;



Рис. 32



Рис. 33

при движении в противоположном направлении скорость тела убывает.

Так, например, во время полета парашютиста на него действуют две силы — сила тяжести и сила сопротивления воздуха. На начальной стадии спуска сила тяжести превышает силу сопротивления и их равнодействующая оказывается направленной вниз. Благодаря этому скорость падения парашютиста на данной стадии полета непрерывно увеличивается. Однако по мере увеличения скорости полета действующая на парашютиста сила сопротивления становится все больше и больше. После раскрытия парашюта сила сопротивления воздуха резко возрастает и становится большее силы тяжести. Равнодействующая этих двух сил оказывается направленной вверх, и скорость парашютиста начинает уменьшаться.

Для безопасного спуска человека площадь купола парашюта должна составлять 40—50 м². При этом минимальная скорость приземления оказывается равной 4—5 м/с.

Слово «парашют» в переводе с французского означает «предотвращающий падение». Идея его создания принадлежит Леонардо да Винчи (1452—1519). Однако первый прыжок с парашютом (с крыши высокой башни) был совершен лишь в 1617 г. венецианским инженером и механиком Ф. Веранцио. Его парашют был далек от совершенства и представлял собой раму, обтянутую полотном.

Первый ранцевый парашют, который располагался на спине человека и раскрывался при помощи вытяжного кольца, был создан в 1911 г. русским изобретателем Г. Е. Котельниковым.

- ???
1. Как находится равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону? 2. Как находится равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в противоположные стороны? Куда она направлена? 3. Как будет двигаться тело, если к нему приложить две равные силы, которые направлены по одной прямой, но в противоположные стороны?

§ 14. Сила упругости. Закон Гука

На все тела, находящиеся вблизи Земли, действует ее притяжение. Под действием силы тяжести падают на Землю капли дождя, снежинки, оторвавшиеся от веток листья.

Но когда тот же снег лежит на крыше, его по-прежнему притягивает Земля, однако он не проваливается сквозь крышу, а остается в покое. Что препятствует его падению? Крыша. Она

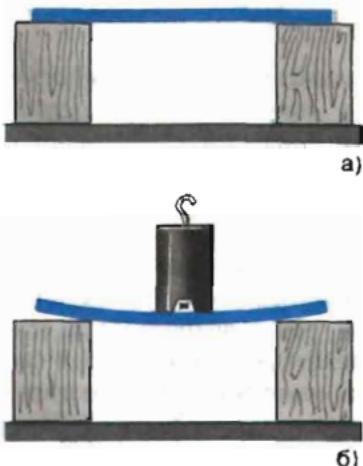


Рис. 34

действует на снег с силой, равной силе тяжести, но направленной в противоположную сторону. Что это за сила?

На рисунке 34, а изображена доска, лежащая на двух подставках. Если на ее середину поместить гирю, то под действием силы тяжести гиря начнет двигаться, но через некоторое время, прогнув доску, остановится (рис. 34, б). При этом сила тяжести окажется уравновешенной силой, действующей на гирю со стороны изогнутой доски и направленной вертикально вверх. Эта сила называется силой упругости.

Сила упругости возникает при деформации. Деформация — это изменение формы или размеров тела. Одним из видов деформации является изгиб. Чем больше прогибается опора, тем больше сила упругости, действующая со стороны этой опоры на тело. Перед тем как тело (гирю) положили на доску, эта сила отсутствовала. По мере движения гири, которая все сильнее и сильнее прогибала свою опору, возрастала и сила упругости. В момент остановки гири сила упругости достигла силы тяжести и их равнодействующая стала равной нулю.

Если на опору поместить достаточно легкий предмет, то ее деформация может оказаться столь незначительной, что никакого изменения формы опоры мы не заметим. Но деформация все равно будет! А вместе с ней будет действовать и сила упругости, препятствующая падению тела, находящегося на данной опоре. В подобных случаях (когда деформация тела незаметна и изменением размеров опоры можно пренебречь) силу упругости называют силой реакции опоры.

Если вместо опоры использовать какой-либо подвес (нить, веревку, проволоку, стержень и т. д.), то прикрепленный к нему предмет также может удерживаться в покое. Сила тяжести и здесь будет уравновешена противоположно направленной силой упругости. Сила упругости при этом возникает из-за того, что подвес под действием прикрепленного к нему груза растягивается. *Растяжение* еще один вид деформации.

Сила упругости возникает и при *сжатии*. Именно она заставляет распрымляться сжатую пружину и толкать прикрепленное к ней тело (см. рис. 27, б).

Большой вклад в изучение силы упругости внес английский ученый Р. Гук. В 1660 г., когда ему было 25 лет, он установил закон, названный впоследствии его именем. **Закон Гука** гласит:

Сила упругости, возникающая при растяжении или сжатии тела, пропорциональна его удлинению.

Если удлинение тела, т. е. изменение его длины, обозначить через x , а силу упругости — через $F_{\text{упр}}$, то закону Гука можно придать следующую математическую форму:

$$F_{\text{упр}} = kx,$$

где k — коэффициент пропорциональности, называемый **жесткостью** тела. У каждого тела своя жесткость. Чем больше жесткость тела (пружины, проволоки, стержня и т. д.), тем меньше оно изменяет свою длину под действием данной силы.

Единицей жесткости в СИ является **ньютон на метр** (1 Н/м).

Проделав ряд экспериментов, подтвердивших данный закон, Гук отказался от его публикации. Поэтому в течение долгого времени никто не знал о его открытии. Даже спустя 16 лет, все еще не доверяя своим коллегам, Гук в одной из своих книг привел лишь зашифрованную формулировку (анаграмму) своего закона. Она имела вид

· ceiiinosssttuv.

Выждав два года, чтобы конкуренты могли сделать заявки о своих открытиях, он наконец расшифровал свой закон. Анаграмма расшифровывалась так:

ut tensio, sic vis

(что в переводе с латинского означает: каково растяжение, такова и сила). «Сила любой пружины,— писал Гук,— пропорциональна ее растяжению».

Гук изучал **упругие** деформации. Так называют деформации, которые исчезают после прекращения внешнего воздействия. Если, например, пружину несколько растянуть, а затем отпустить, то она снова примет свою первоначальную форму. Но ту же пружину можно растянуть на столько, что, после того как ее отпустят, она так и останется растянутой. Деформации, которые не исчезают после прекращения внешнего воздействия, называют **пластическими**.

Пластические деформации применяют при лепке из пластилина и глины, при обработке металлов — ковке, штамповке и т. д.

Для пластических деформаций закон Гука не выполняется.

В древние времена упругие свойства некоторых материалов (в частности, такого дерева, как тис) позволили нашим предкам изобрести лук — ручное оружие, предназначенное для метания стрел с помощью силы упругости натянутой тетивы.

Появившись примерно 12 тысяч лет назад, лук просуществовал на протяжении многих веков как основное оружие почти всех племен и народов мира. До изобретения огнестрельного оружия лук являлся самым эффективным боевым средством. Английские лучники могли пускать до 14 стрел в минуту, что при массовом использовании луков в бою создавало целую тучу стрел. Например, число стрел, выпущенных в битве при Азенкуре (во время Столетней войны), составило примерно 6 миллионов!

Широкое распространение этого грозного оружия в средние века вызвало обоснованный протест со стороны определенных кругов общества. В 1139 г. собравшийся в Риме Латеранский (церковный) собор запретил применение этого оружия против христиан. Однако борьба за «лучное разоружение» не имела успеха, и лук как боевое оружие продолжал использоваться людьми еще на протяжении пятисот лет.

Совершенствование конструкции лука и создание самострелов (арбалетов) привело к тому, что выпущенные из них стрелы стали пробивать любые доспехи. Но военная наука не стояла на месте. И в XVII в. лук был вытеснен огнестрельным оружием.

В наше время стрельба из лука является лишь одним из видов спорта.

- ???
1. В каких случаях возникает сила упругости? 2. Что называют деформацией? Приведите примеры деформаций. 3. Сформулируйте закон Гука. 4. Что такое жесткость? 5. Чем отличаются упругие деформации от пластических?

§ 15. Динамометр. Вес тела

Динамометр (от греческого слова «динамис» — сила) — это прибор для измерения силы.

Существуют различные конструкции динамометров. Силу тяги тракторов, тягачей, буксиров и т. д. измеряют с помощью тяговых динамометров (рис. 35). Для измерения мышечной силы руки используют медицинский динамометр — силомер (рис. 36).

На рисунке 37 изображен учебный пружинный динамометр, рассчитанный на измерение сил до 4 Н. Он состоит из стальной

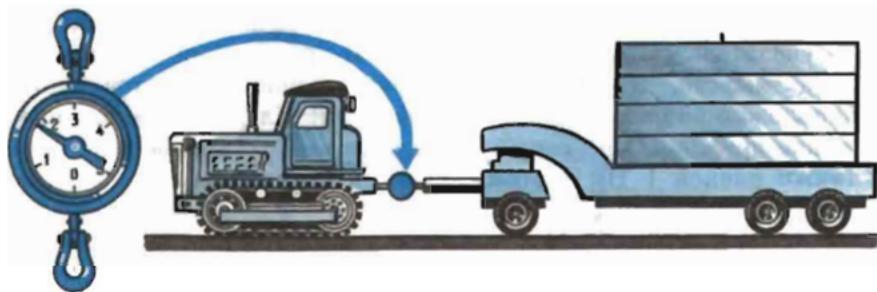


Рис. 35

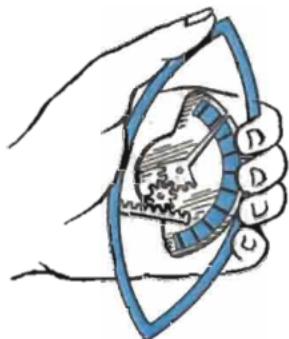


Рис. 36



Рис. 37

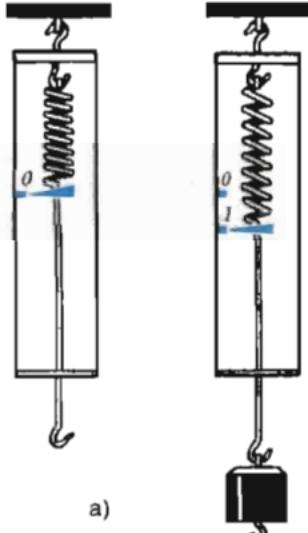


Рис. 38

пружины с указателем и крючком, прикрепленной к пластмассовому (в старых конструкциях к деревянному) основанию, на которое нанесена шкала (буква «N» на шкале динамометра — это международное обозначение ньютона).

Действие пружинного динамометра основано на уравновешивании измеряемой силы силой упругости пружины.

Градуирование пружины динамометра (т. е. создание шкалы с делениями) можно осуществить следующим образом. К основанию динамометра (под пружиной) прикрепляют полоску белой бумаги. Затем отмечают положение указателя при нерастянутой пружине — это нулевое деление (рис. 38, а). После этого к крючку подвешивают груз массой 102 г. На этот груз действует сила

тяжести 1 Н. Под действием этого груза пружина растягивается и указатель перемещается вниз. В положении равновесия сила тяжести, действующая на груз, уравновешивается противоположно направленной силой упругости. Следовательно, растяжение пружины при этом будет соответствовать силе упругости, также равной 1 Н. Поэтому новое положение указателя отмечают на бумаге цифрой 1 (рис. 38, б).

Затем к первому грузу подвешивают еще один такой же, увеличивая тем самым общую массу до 204 г, а силу тяжести — до 2 Н. Соответствующее положение указателя отмечают цифрой 2. После этого прикрепляют третий, а затем четвертый груз, каждый раз отмечая положение указателя соответствующей цифрой.

Для того чтобы можно было измерять десятые доли ньютона, каждое из расстояний между отметками 0 и 1, 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 делят на десять равных частей. Такое построение шкалы возможно благодаря закону Гука, из которого следует, что сила упругости пружины увеличивается во столько же раз, во сколько раз увеличивается ее удлинение.

Динамометр можно применять и для измерения веса тела. **Весом** тела называют силу, с которой оно давит на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес.

P — вес тела.

Если к вертикально расположенному пружинному динамометру прикрепить груз, то после того, как груз растянет пружину и остановится, на крючок динамометра будут действовать две силы: сила упругости пружины $F_{\text{упр}}$ и вес груза P . Эти силы будут противоположны по направлению, но равны по величине. Поэтому динамометр позволяет измерить не только силу упругости (и равную ей силу тяжести груза), но и вес тела P .

Вес покоящегося, а также равномерно и прямолинейно движущегося (относительно Земли) тела равен действующей на него силе тяжести:

$$P = mg.$$

Несмотря на совпадение формул, между силой тяжести и весом тела есть существенное различие. Сила тяжести приложена к телу, на которое действует Земля, а вес тела приложен к подвесу или опоре, на которую это тело давит. Если обе эти силы изобразить в виде стрелок, указывающих их направление (а направлены эти силы вертикально вниз), то это будет выглядеть так, как показано на рисунке 39.

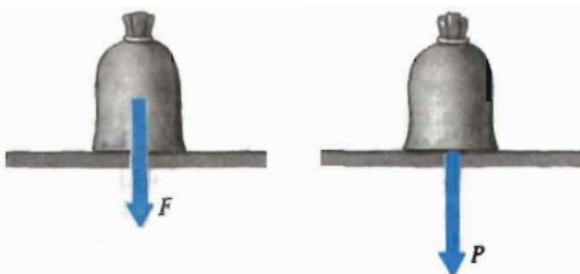


Рис. 39

Вес тела не следует путать с его массой. Масса тела измеряется в килограммах, а вес тела (как и любая другая сила) — в ньютонах. Вес тела имеет направление, а масса никакого направления не имеет.

- ???** 1. Что такое динамометр? 2. На чем основано действие пружинного динамометра? 3. Что называют весом тела? 4. По какой формуле находится вес покоящегося тела? 5. Чем отличается вес тела от силы тяжести и массы тела?

§ 16. Сила трения

Если вы попытаетесь сдвинуть с места шкаф, то сразу убедитесь, что это не так-то просто сделать. Его движению будет мешать взаимодействие ножек с полом, на котором он стоит.

Взаимодействие, возникающее в месте соприкосновения тел и препятствующее их относительному движению, называют **трением**, а характеризующую это взаимодействие силу — **силой трения**.

Различают три вида трения: трение покоя, трение скольжения и трение качения.

1. **Трение покоя.** Положим бруск на наклонную доску. При не слишком большом угле наклона доски бруск может оставаться на месте. Что будет удерживать его от соскальзывания вниз? Трение покоя.

Прижмите свою руку к лежащей на столе тетради и передвиньте ее. Тетрадь будет двигаться относительно стола, но покончиться по отношению к вашей ладони. С помощью чего вы заставили эту тетрадь двигаться? С помощью трения покоя тетради о руку.

Трение покоя перемещает грузы, находящиеся на движущейся

ленте транспортера (рис. 40), препятствует развязыванию шнурков, удерживает гвозди, вбитые в доску, и т. д.

Сила трения покоя может быть разной. Она растет вместе с силой, стремящейся сдвинуть тело с места. Но для любых двух соприкасающихся тел она имеет некоторое максимальное значение, больше которого быть не может. Например, для деревянного бруска, находящегося на деревянной доске, максимальная сила трения покоя составляет примерно 0,6 от его веса.

Приложив к телу силу, превышающую максимальную силу трения покоя, мы сдвинем тело с места, и оно начнет двигаться. Трение покоя при этом сменится трением скольжения.

2. Трение скольжения. Из-за чего постепенно останавливаются санки, скатившиеся с горы? Из-за трения скольжения. Почему замедляет свое движение шайба, скользящая по льду? Вследствие трения скольжения.

Сила трения скольжения направлена всегда в сторону, противоположную направлению движения тела.

Каковы же причины возникновения силы трения?

1. Шероховатость поверхностей соприкасающихся тел. Даже те поверхности, которые выглядят гладкими, на самом деле всегда имеют микроскопические неровности (выступы, впадины). При скольжении одного тела по поверхности другого эти неровности зацепляются друг за друга и тем самым мешают движению.

2. Межмолекулярное притяжение, действующее в местах контакта трущихся тел. О молекулах (мельчайших частицах вещества) будет рассказано в главе 4. Сейчас важно усвоить одно — между молекулами вещества на очень малых расстояниях возникает притяжение.

Молекулярное притяжение проявляется в тех случаях, когда поверхности соприкасающихся тел хорошо отполированы. Так, например, при относительном скольжении двух металлов с очень чистыми и ровными поверхностями, обработанными в вакууме с

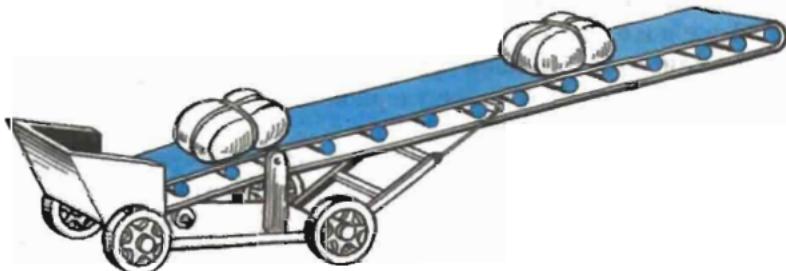


Рис. 40

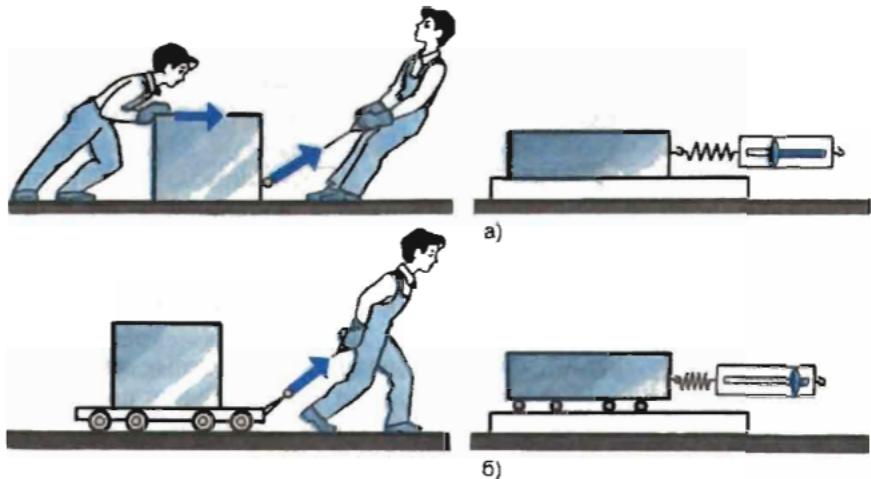


Рис. 41

помощью специальной технологии, сила трения оказывается намного больше, чем при перемещении неровного бруска дерева по земле. В некоторых случаях эти металлы даже «схватываются» друг с другом, и дальнейшее скольжение невозможно.

3. Трение качения. Если тело не скользит по поверхности другого тела, а, подобно колесу или цилиндру, катится, то возникающее в месте их контакта трение называют трением качения. Катящееся колесо несколько вдавливается в полотно дороги, и потому перед ним все время оказывается небольшой бугорок, который необходимо преодолевать. Именно тем, что катящемуся колесу постоянно приходится взбираться на появляющийся впереди бугорок, и обусловлено трение качения. При этом, чем дорога тверже, тем трение качения меньше.

При одинаковых нагрузках сила трения качения значительно меньше силы трения скольжения. Это было замечено еще в древности. Поэтому для перемещения тяжелых грузов наши предки подкладывали под них катки или бревна. По этой же причине люди стали использовать в транспорте колеса.

???

1. Какие известные вам наблюдения и опыты свидетельствуют о существовании трения? 2. Что такое трение? 3. Какими факторами обусловлено трение? 4. Какие виды трения существуют? Приведите примеры их проявления. 5. Используя рисунок 41, объясните, каким образом можно показать, что при равных нагрузках сила трения качения меньше силы трения скольжения.

§ 17. Трение в природе и технике

Изучением трения ученые занимаются уже пятьсот лет. Первым его исследовал еще Леонардо да Винчи (1452—1519). Важные результаты в этой области были получены французскими учеными Г. Амонтоном (1663—1705) и Ш. Кулоном (1736—1806).

Какую роль играет трение в природе и технике — положительную или отрицательную? На этот вопрос нельзя дать однозначного ответа. Трение может быть как полезным, так и вредным. В первом случае его стараются усилить, во втором — ослабить.

В отсутствие трения покоя ни люди, ни животные не могли бы ходить по земле. В гололедицу, когда трение между подошвой обуви и льдом становится малым и ноги начинают скользить, лед посыпают песком: песок увеличивает трение.

На гладкой поверхности не смогли бы двигаться и автомобили: их колеса, вращаясь, проскальзывали бы и буксовали на месте.

Именно трение останавливает машины при торможении. На льду они даже при включенных тормозах продолжали бы двигаться по инерции.

Но трение может играть и отрицательную роль. Ведь именно из-за него нагреваются и изнашиваются многие движущиеся части различных механизмов. В таких случаях его стараются уменьшить.

Существуют разные способы уменьшения трения.

1. *Введение между трещущимися поверхностями смазки* (например, какого-либо масла). При наличии смазки (рис. 42) соприкасаются не сами поверхности тел, а ее соседние слои. Трение же между слоями жидкости слабее, чем между твердыми поверхностями. Кстати, именно благодаря смазке, возникающей в ре-

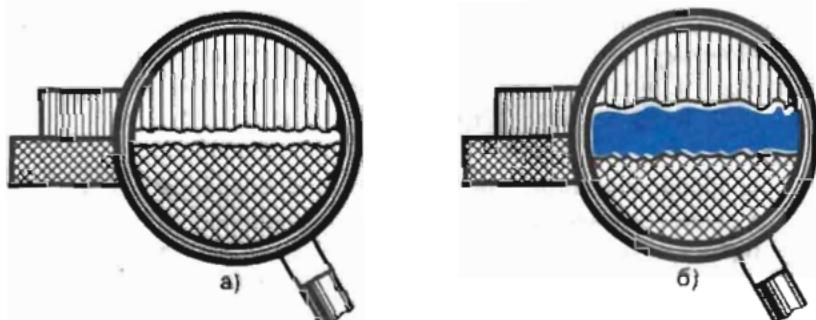


Рис. 42

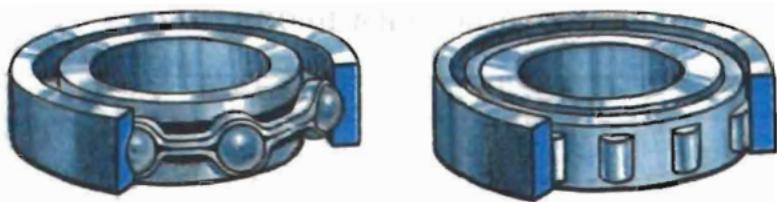


Рис. 43

зультате таяния льда под коньком, скольжение на коньках по льду сопровождается очень слабым трением.

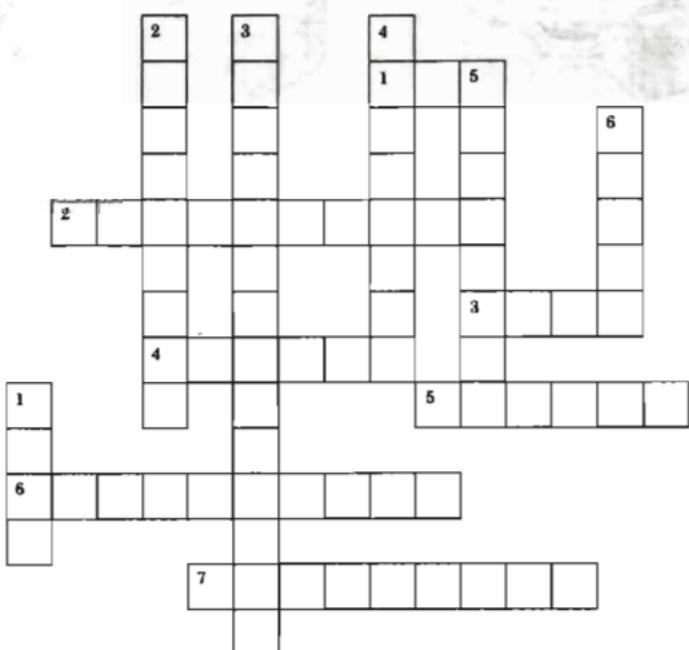
2. *Использование шариковых и роликовых подшипников* (рис. 43). Внутреннее кольцо таких подшипников насаживают на вал какой-либо машины или станка. Наружное кольцо подшипника закрепляют в корпусе машины. Когда машину или станок включают и вал начинает вращаться, то вместе с внутренним кольцом он начинает не скользить, а катиться на шариках или роликах, находящихся между кольцами подшипника. Трение же качения существенно меньше трения скольжения. Поэтому вращающиеся части машин при наличии подшипников изнашиваются значительно медленнее и дольше служат людям.

3. *Применение воздушной подушки*. Уменьшение трения при этом происходит за счет того, что между машиной и опорой создается область воздуха с повышенным давлением, препятствующая их непосредственному контакту. Подобные устройства применяют в судах на воздушной подушке, экранопланах и других аппаратах.

???

1. Приведите примеры, показывающие, что трение может быть полезным.
2. Приведите примеры, показывающие, что трение может быть вредным.
3. Какие способы увеличения и уменьшения трения вы знаете?

КРОССВОРД «ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ — 2»



По горизонтали: 1. Сила, с которой тело давит на свою опору или растягивает подвес. 2. Прибор для измерения силы. 3. Физическая величина, являющаяся мерой взаимодействия тел. 4. Взаимодействие, препятствующее движению одного тела по поверхности другого. 5. Единица силы. 6. Линия, по которой двигалось тело. 7. Единица массы.

По вертикали: 1. Длина траектории. 2. Физическая величина, равная отношению массы тела к его объему. 3. Действие тел друг на друга. 4. Процесс изменения положения тела относительно выбранного тела отсчета. 5. Физическая величина, измеряемая в м/с. 6. Мера инертности тела.

§ 18. Механическая работа

Термин «работа» был введен в физику в 1826 г. французским ученым Ж. Понселе. Если раньше работой называли лишь труд человека, то теперь под этим стали понимать еще и определенную физическую величину:

A — работа.

Для расчета **механической работы** Понселе предложил специальные правила. Мы рассмотрим лишь самые простые случаи. Пусть тело, к которому приложена какая-то постоянная сила F , перемещается вдоль прямой линии на расстояние s . Тогда:

1) если направление движения тела совпадает с направлением приложенной силы (рис. 44), то данная сила совершает положительную работу, равную произведению силы на пройденный путь;

$$A = Fs; \quad (18.1)$$

2) если направление движения тела противоположно направлению силы (рис. 45), то данная сила совершает отрицательную работу, равную произведению силы на путь, взятому со знаком «минус»:

$$A = -Fs; \quad (18.2)$$

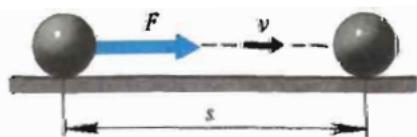


Рис. 44



Рис. 45

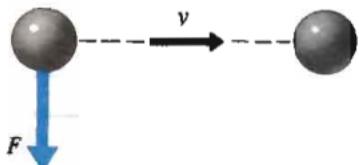


Рис. 46

3) если скорость тела перпендикулярна направлению силы (рис. 46), то эта сила никакой работы не совершает:

$$A = 0.$$

Формула (18.1) показывает, что, чем больше сила и путь, пройденный в направлении действия силы, тем больше работа, совершаемая данной силой.

Для совершения работы необходимо выполнение трех условий: а) к телу должна быть приложена какая-то сила; б) тело должно двигаться; в) направление движения не должно быть перпендикулярным по отношению к направлению действия силы. Если хотя бы одно из этих условий не будет выполнено, то работа будет равна нулю.

Если тело, к которому приложена сила, продолжает оставаться в покое, то механическая работа при этом не совершается. Но немеханическая работа может совершаться и в этом случае. Именно поэтому, например, устает человек, который просто держит на весу какой-либо груз. Работа, совершаемая человеком, обусловлена процессами, происходящими в его организме. Тщательные наблюдения показывают, что груз в руках человека на самом деле не остается в полном покое, а совершает небольшие колебания, периодически поднимаясь и опускаясь. Мышцы человека при этом то расслабляются, то сокращаются, затрачивая на каждый микроскопический подъем груза вырабатываемую организмом энергию.

Примером немеханической работы является и простое запоминание человеком какой-либо информации. Этот процесс связан с жизнедеятельностью клеток мозга и потому изучается в курсе биологии человека.

Единицей работы в СИ является джоуль (1 Дж). 1 Дж — это работа, которую совершает сила в 1 Н на пути 1 м в направлении действия силы. Эта единица названа в честь английского ученого Дж. Джоуля (1818—1889):

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

Часто применяются также килоджоули и миллиджоули:

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж}, 1 \text{ мДж} = 0,001 \text{ Дж}.$$

??? 1. В каком случае работа положительна? отрицательна? равна нулю? 2. Как находится работа на пути, пройденном в направлении

действия силы? в противоположном направлении? 3. Как называется единица работы? 4. Какую работу — положительную, отрицательную или равную нулю — совершает сила тяжести в следующих случаях: а) выпущенная из лука стрела летит вертикально вверх; б) спутник движется по круговой орбите вокруг Земли; в) камень падает вертикально вниз? 5. Какую работу совершает сила трения покоя, мешающая человеку сдвинуть с места тяжелый шкаф?

§ 19. Мощность

Одна и та же работа может быть совершена за разное время. Если, например, требуется перенести на какое-то расстояние мешок с песком, то человек это может сделать за несколько минут, а муравью, таскающему по одной песчинке, для этого потребуется несколько лет.

Быстроту совершения работы характеризуют **мощностью**. Мощность показывает, какая работа совершается за единицу времени (в СИ — за 1 с). Если, например, за 2 с была совершена работа 6 Дж, то за 1 с была совершена работа, в 2 раза меньшая. Разделив 6 Дж на 2 с, мы получим 3 Дж/с. Это и есть мощность.

Итак, чтобы найти мощность, надо работу разделить на время, в течение которого совершалась эта работа:

$$\text{мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}},$$

или

$$N = \frac{A}{t}, \quad (19.1)$$

где

N — мощность, A — работа, t — время.

Единицей мощности в СИ является *ватт* (1 Вт). 1 Вт — это такая мощность, при которой за 1 с совершается работа 1 Дж:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с.}$$

Эта единица названа в честь английского изобретателя Дж. Ватта (Уатта), построившего первую паровую машину. Сам Уатт (1736—1819) пользовался другой единицей мощности — *лошадиной силой* (1 л. с.), которую он ввел с целью

возможности сравнения работоспособности паровой машины и лошади:

$$1 \text{ л. с.} = 735,5 \text{ Вт.}$$

В технике часто применяют более крупные единицы мощности — киловатт и мегаватт:

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}, 1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт.}$$

Мощность является важной характеристикой любого двигателя. Различные двигатели имеют мощности от сотых и десятых долей киловатта (двигатель электрической бритвы, швейной машины) до миллионов киловатт (двигатели ракет-носителей космических кораблей).

Средняя мощность, развиваемая сердцем, равна 2,2 Вт. А при прыжке с места или рывке при поднятии тяжести человек может развить мощность в тысячу раз больше.

Зная мощность, можно рассчитать работу. Из формулы (19.1) следует, что

$$A = Nt. \quad (19.2)$$

Чтобы найти работу, надо мощность умножить на время, в течение которого совершалась работа.

- ??? 1. Что характеризует мощность? 2. Что показывает мощность? 3. Как находится мощность? 4. Как называется единица мощности в СИ? 5. Как, зная мощность и время, можно рассчитать работу?

§ 20. Рычаг

Сила человека ограничена. Поэтому он часто применяет устройства (или приспособления), позволяющие преобразовать его силу в силу, существенно большую. Примером подобного приспособления является рычаг.

Рычаг представляет собой твердое тело, способное вращаться вокруг неподвижной опоры. В качестве рычага могут быть использованы лом, доска и тому подобные предметы.

Различают два вида рычагов. У *рычага 1-го рода* неподвижная точка опоры *O* располагается между линиями действия приложенных сил (рис. 47), а у *рычага 2-го рода* она располагается по одну сторону от них (рис. 48).

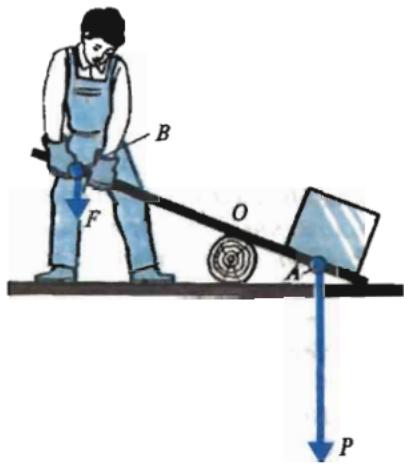


Рис. 47

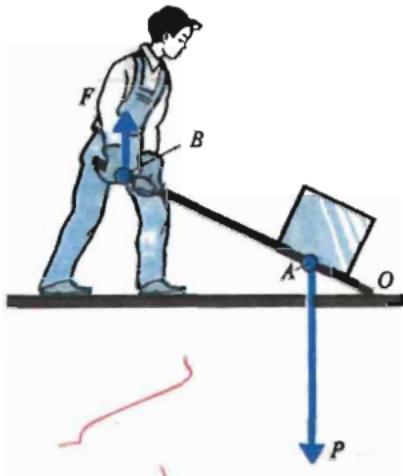


Рис. 48

Использование рычага позволяет получить выигрыши в силе. Так, например, рабочий, изображенный на рисунке 47, прикладывая к рычагу силу 400 Н, сможет приподнять груз весом 800 Н. Разделив 800 Н на 400 Н, мы получим выигрыш в силе, равный 2.

Для расчета выигрыша в силе, получаемого с помощью рычага, следует знать правило, открытое Архимедом еще в III в. до н. э. Для установления этого правила проделаем опыт. Укрепим на штативе рычаг и по обе стороны от оси вращения прикрепим к нему грузы (рис. 49). Действующие на рычаг силы F_1 и F_2 будут равны весам этих грузов. Из опыта, изображенного на рисунке 49, видно, что если плечо одной силы (т. е. расстояние OA) в 2 раза превышает плечо другой силы (расстояние OB), то силой 2 Н можно уравновесить в 2 раза большую силу — 4 Н.

Итак, для того чтобы уравновесить меньшей силой большую силу, необходимо, чтобы ее плечо превышало плечо большей силы. Выигрыш в силе, получаемый с помощью рычага, определяется отношением плеч приложенных сил. В этом состоит правило рычага.

Обозначим плечи сил через l_1 и l_2 (рис. 50). Тогда правило рычага

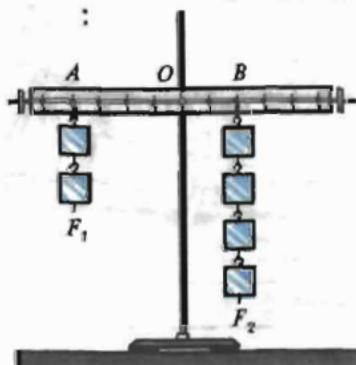


Рис. 49

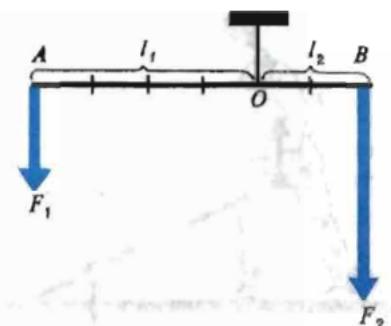


Рис. 50

можно представить в виде следующей формулы:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (20.1)$$

Эта формула показывает, что рычаг находится в равновесии, если приложенные к нему силы обратно пропорциональны их плечам.

Рычаг начал применяться людьми в глубокой древности. С его помощью удавалось поднимать

тяжелые каменные плиты при постройке пирамид в Древнем Египте (рис. 51). Без рычага это было бы невозможно. Ведь, например, для возведения пирамиды Хеопса, имеющей высоту 147 м, было использовано более двух миллионов каменных глыб, самая меньшая из которых имела массу 2,5 т!

В наше время рычаги находят широкое применение как на производстве (например, подъемные краны), так и в быту (ножницы, кусачки, весы и т. д.).

- ???
1. Что представляет собой рычаг?
 2. В чем заключается правило рычага?
 3. Кто его открыл?
 4. Чем отличается рычаг 1-го рода от рычага 2-го рода?
 5. Приведите примеры применения рычагов.
 6. Рассмотрите рисунки 52, а и 52, б. В каком случае груз нести легче? Почему?

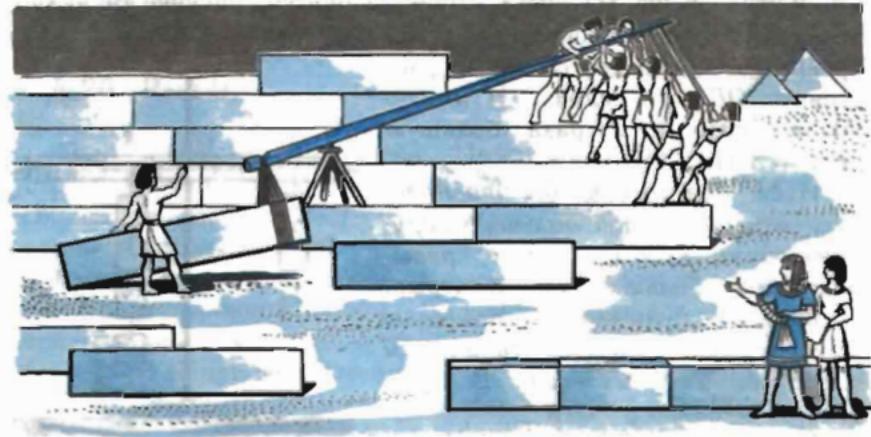


Рис. 51



Рис. 52

△ Экспериментальное задание. Положите под середину линейки карандаш так, чтобы линейка находилась в равновесии. Не меняя взаимного расположения линейки и карандаша, уравновесьте на полученным рычаге одну монету с одной стороны и стопку из трех таких же монет с другой стороны. Измерьте плечи приложенных (со стороны монет) сил и проверьте правило рычага.

§ 21. Правило моментов

С тех пор как Архимед установил правило рычага, оно просуществовало в первозданном виде почти 1900 лет. И лишь в 1687 г. французский ученый П. Вариньон придал ему более общую формулу, воспользовавшись понятием момента силы.

Моментом силы называется физическая величина, равная произведению силы на ее плечо:

$$M = Fl, \quad (21.1)$$

где

M — момент силы, F — сила, l — плечо силы.

Докажем, что *рычаг находится в равновесии, если момент силы, вращающей его по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающей его против часовой стрелки, т. е.*

$$M_1 = M_2. \quad (21.2)$$

Для доказательства этого равенства воспользуемся формулой (20.1). Используя свойство пропорции (произведение крайних членов пропорции равно произведению ее средних членов), перепишем эту формулу в виде

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

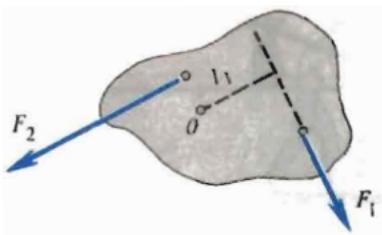


Рис. 53

Но $F_2l_2 = M_2$ — момент силы, стремящейся повернуть рычаг по часовой стрелке (см. рис. 50), а $F_1l_1 = M_1$ — момент силы, стремящейся повернуть рычаг против часовой стрелки. Таким образом, $M_1 = M_2$, что и требовалось доказать.

Формула (21.2) выражает **правило моментов**. Это правило справедливо для любого твердого тела, способного вращаться вокруг закрепленной оси. Таково, например, тело, изображенное на рисунке 53. Ось вращения этого тела перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через точку, обозначенную буквой O .

Плечом силы F_1 в данном случае является расстояние l_1 от оси вращения до линии действия силы.

В общем случае момент силы находят следующим образом. Сначала проводят линию действия силы. Затем из точки O , через которую проходит ось вращения, опускают на линию действия силы перпендикуляр. Длина этого перпендикуляра является плечом данной силы. Умножив силу на ее плечо, получают момент силы относительно оси вращения.

Момент силы характеризует врачающее действие силы. Это действие зависит как от силы, так и от ее плеча. Именно поэтому, например, желая открыть дверь, стараются приложить силу как можно дальше от оси вращения. С помощью небольшой силы при этом создают значительный момент, и дверь открывается. Открыть ее, оказывая давление около петель, значительно труднее. По той же причине гайку легче отворачивать более длинным гаечным ключом, шуруп легче вывернуть с помощью отвертки с более широкой ручкой и т. д.

Единицей момента силы в СИ является *ニュто́н·метр* (1 Н·м). Это момент силы 1 Н, имеющей плечо 1 м.

- ???
1. Что называют моментом силы? 2. Сформулируйте правило моментов. 3. Что характеризует момент силы? 4. Почему ручку у двери прикрепляют на противоположной от петель стороне? 5. Как находится момент силы в общем случае? 6. Что принимают за единицу момента силы?

§ 22. Блок

Блок представляет собой устройство, имеющее форму колеса с желобом, по которому пропускают веревку, трос или цепь. Различают два основных вида блоков — подвижный и неподвижный. У *неподвижного блока* ось закреплена и при подъеме грузов не поднимается и не опускается (рис. 54), а у *подвижного блока* ось перемещается вместе с грузом (рис. 55).

Неподвижный блок не дает выигрыша в силе. Его применяют для того, чтобы изменить направление действия силы. Так, например, прикладывая к веревке, перекинутой через такой блок, силу, направленную вниз, мы заставляем груз подниматься вверх (см. рис. 54).

Иначе обстоит дело с подвижным блоком. Этот блок позволяет небольшой силой уравновесить силу, в 2 раза большую. Для доказательства этого обратимся к рисунку 56. Прикладывая силу F , мы стремимся повернуть блок вокруг оси, проходящей через точку O . Момент этой силы равен произведению Fl , где l — плечо силы F , равное диаметру блока OB . Одновременно с этим прикрепленный к блоку груз своим весом P создает момент, равный $P\frac{l}{2}$, где $\frac{l}{2}$ — плечо силы P , равное радиусу блока OA . Согласно

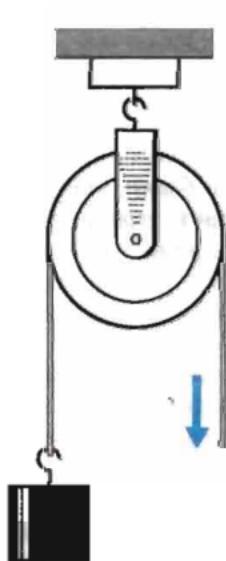


Рис. 54

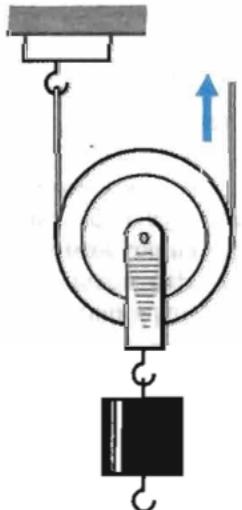


Рис. 55

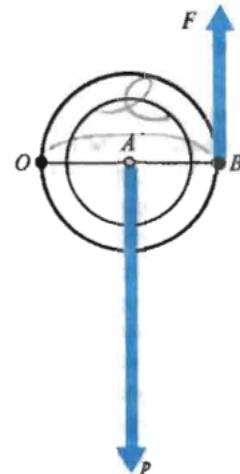


Рис. 56

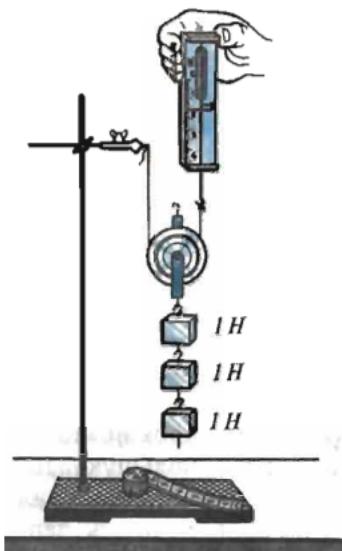


Рис. 57

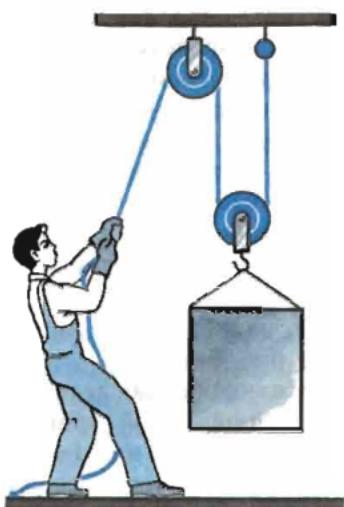


Рис. 58

правилу моментов (21.2)

$$Fl = P \frac{l}{2}, \quad (22.1)$$

откуда

$$F = \frac{P}{2}, \quad (22.2)$$

что и требовалось доказать.

Из формулы (22.2) следует, что $P/F=2$. Это означает, что выигрыш в силе, получаемый с помощью подвижного блока, равен 2. Опыт, изображенный на рисунке 57, подтверждает этот вывод.

На практике часто применяют комбинацию подвижного блока с неподвижным (рис. 58). Это позволяет изменить направление силового воздействия с одновременным двукратным выигрышем в силе.

Для получения большего выигрыша в силе применяют грузоподъемный механизм, называемый **полиспастом**. Греческое слово «полиспаст» образовано из двух корней: «поли» — много и «спао» — тяну, так что в целом получается «многотяг».

Полиспаст представляет собой комбинацию из двух обойм, одна из которых состоит из трех неподвижных блоков, а другая — из трех подвижных блоков (рис. 59). Поскольку каждый из подвижных блоков удваивает силу тяги, то в целом полиспаст дает шестикратный выигрыш в силе.



Рис. 59



Рис. 60

???

1. Какие два вида блоков вы знаете?
2. Чем отличается подвижный блок от неподвижного?
3. Для какой цели применяют неподвижный блок?
4. Для чего используют подвижный блок?
5. Что представляет собой полиспаст? Какой выигрыш в силе он дает?

§ 23. Другие механизмы

Механические устройства, служащие для преобразования величины или направления силы, называют **простыми механизмами**. К таким механизмам относятся не только рассмотренные нами рычаги и блоки, но и ряд других приспособлений (например, клин, винт, наклонная плоскость, ворот).

Ворот состоит из цилиндра (барабана) и прикрепленной к нему рукоятки. Этот простой механизм был изобретен в глубокой древности. Чаще всего его применяли для подъема воды из колодцев (рис. 60).

Выигрыш в силе, даваемый воротом, определяется отношением радиуса окружности, описываемой рукояткой, к радиусу цилиндра, на который намотана веревка.

Более совершенным механизмом является **лебёдка** (рис. 61). Она представляет собой сочетание ворота с двумя зубчатыми колесами разного диаметра.

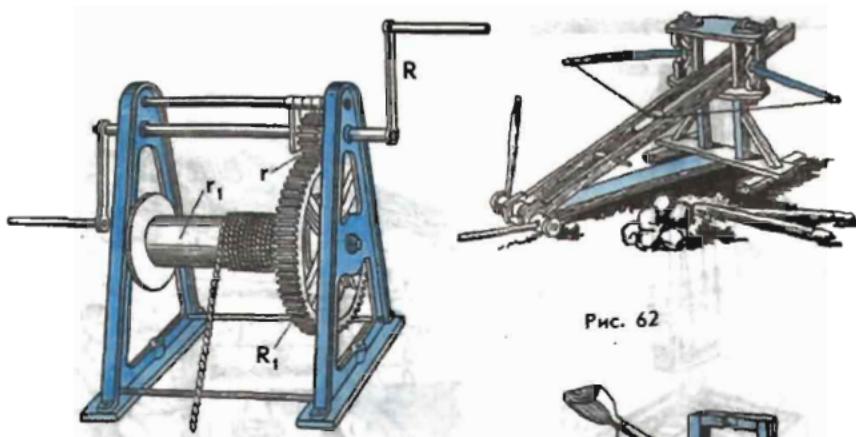


Рис. 61

Рис. 62



Рис. 63

Лебедку можно рассматривать как комбинацию двух ворот. Один из них (рукоятка + малое зубчатое колесо) дает выигрыш в силе, равный отношению R/r (см. рис. 61); другой (большое зубчатое колесо + цилиндр, на который наматывается веревка) дает выигрыш в силе, равный отношению R_1/r_1 . Общий выигрыш в силе равен их произведению и потому выражается отношением:

$$\text{выигрыш в силе} = \frac{R}{r} \cdot \frac{R_1}{r_1}.$$

Если, например, длина рычага рукоятки $R=60$ см, радиус малой шестерни $r=5$ см, радиус большого зубчатого колеса $R_1=50$ см и радиус барабана лебедки $r_1=10$ см, то с помощью данной лебедки мы получим 60-кратный выигрыш в силе.

В древние времена многие простые механизмы использовались в военных целях. Это баллисты (рис. 62), катапульты (рис. 63) и другие устройства. Особенно большим количеством изобретений в этой области прославился Архимед.

Когда римские войска осадили Сиракузы, 75-летний Архимед возглавил оборону родного города. Сконструированные им механизмы поразили воображение современников. Огромный урон, наносимый римским войскам «железными лапами» и метательными машинами Архимеда, привел, по словам Плутарха, к тому, что «греки стали так трусивы, что если замечали, что над стеной движется кусок каната или бревно, то кричали: «Вот, вот оно!» —



Рис. 64

и, думая, что Архимед хочет направить на них какую-нибудь машину, ударялись в бегство».

Несколько месяцев длилась осада Сиракуз, и лишь благодаря предателям, открывшим ворота, римляне наконец смогли ворваться в город. «Немало примеров гнусной злобы и гнусной алчности можно было бы припомнить, — пишет Тит Ливий (I в. до н. э.) о разграблении Сиракуз, — но самый знаменитый между ними — убийство Архимеда. Среди дикого смятения, под крики и топот озверевших солдат, Архимед спокойно размышлял, рассматривая начерченные на песке фигуры, и какой-то грабитель заколол его мечом, даже не подозревая, кто это» (рис. 64).

- ???
1. Что называют простыми механизмами? 2. Какие простые механизмы вы знаете? 3. Что представляет собой ворот? Чем определяется даваемый им выигрыш в силе? 4. Из каких частей состоит лебедка? 5. В каких военных машинах древности применялись простые механизмы?

§ 24. Коэффициент полезного действия

Используя тот или иной механизм, мы совершаляем работу, всегда превышающую ту, которая необходима для достижения поставленной цели. В соответствии с этим различают полную или затраченную работу A_z и полезную работу A_n . Если, например, наша цель — поднять груз массой m на высоту h , то полезная работа — это та, которая обусловлена лишь преодолением силы тяжести, действующей на груз. При равномерном подъеме груза, когда прикладываемая нами сила равна силе тяжести груза, эта работа может быть найдена следующим образом:

$$A_n = F \cdot h = mgh. \quad (24.1)$$

Если же мы применяем для подъема груза блок или какой-либо другой механизм, то, кроме силы тяжести груза, нам приходится преодолевать еще и силу тяжести частей механизма, а также действующую в механизме силу трения. Например, используя подвижный блок, мы вынуждены будем совершать дополнительную работу по подъему самого блока с тросом и по преодолению силы трения в оси блока. Кроме того, выигрывая в силе, мы всегда проигрываем в пути (об этом подробнее будет рассказано ниже), что также влияет на работу. Все это приводит к тому, что затраченная нами работа оказывается больше полезной:

$$A_z > A_n.$$

Полезная работа всегда составляет лишь некоторую часть полной работы, которую совершает человек, используя механизм.

Физическая величина, показывающая, какую долю составляет полезная работа от всей затраченной работы, называется коэффициентом полезного действия механизма.

Сокращенное обозначение коэффициента полезного действия — КПД.

Чтобы найти КПД механизма, надо полезную работу разделить на ту, которая была затрачена при использовании данного механизма.

Коэффициент полезного действия часто выражают в процентах и обозначают греческой буквой η (читается «эта»):

$$\eta = \frac{A_n}{A_z} \cdot 100\% \quad (24.2)$$

Поскольку числитель A_n в этой формуле всегда меньше знаменателя A_z , то КПД всегда оказывается меньше 1 (или 100%).

Конструируя механизмы, стремятся увеличить их КПД. Для

этого уменьшают трение в осях механизмов и их массу. В тех случаях, когда трение ничтожно мало и используемые механизмы имеют массу, пренебрежимо малую по сравнению с массой поднимаемого груза, коэффициент полезного действия оказывается лишь немного меньше 1. В этом случае затраченную работу можно считать примерно равной полезной работе:

$$A_s \approx A_n. \quad (24.3)$$

Следует помнить, что *выигрыша в работе с помощью простого механизма получить нельзя*.

Поскольку каждую из работ в равенстве (24.3) можно выразить в виде произведения соответствующей силы на пройденный путь, то это равенство можно переписать так:

$$F_1 s_1 \approx F_2 s_2. \quad (24.4)$$

Отсюда следует, что,

выигравая с помощью механизма в силе, мы во столько же раз проигрываем в пути, и наоборот.

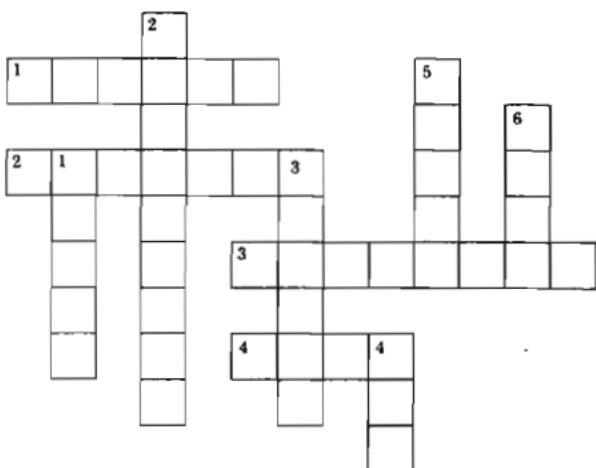
Этот закон называют **«золотым правилом» механики**. Его автором является древнегреческий ученый Герон Александрийский, живший в I в. н. э.

«Золотое правило» механики является приближенным законом, так как в нем не учитывается работа по преодолению трения и силы тяжести частей используемых приспособлений. Тем не менее оно бывает очень полезным при анализе работы любого простого механизма.

Так, например, благодаря этому правилу мы сразу можем сказать, что рабочему, изображенному на рисунке 47, при двукратном выигрыше в силе для подъема груза на 10 см придется опустить противоположный конец рычага на 20 см. То же самое будет и в случае, изображенном на рисунке 58. Когда рука человека, держащего веревку, опустится на 20 см, груз, прикрепленный к подвижному блоку, поднимется лишь на 10 см.

- ???
1. Почему затраченная при использовании механизмов работа оказывается все время больше полезной работы? 2. Что называют коэффициентом полезного действия механизма? 3. Может ли КПД механизма быть равным 1 (или 100%)? Почему? 4. Каким образом увеличивают КПД? 5. В чем заключается «золотое правило» механики? Кто его автор? 6. Приведите примеры проявления «золотого правила» механики при использовании различных простых механизмов.

КРОССВОРД «ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ — 3»



По горизонтали:

- Физическая величина, равная произведению силы на путь.
- Древнегреческий ученый.
- Отношение работы ко времени.
- Простой механизм, имеющий вид колеса с желобом.

По вертикали:

- Простой механизм в виде твердого тела, способного вращаться вокруг неподвижной опоры.
- Грузоподъемный механизм, название которого переводится как «многотяг».
- Единица работы.
- Отношение полезной работы к затраченной.
- Расстояние от линии действия силы до оси вращения твердого тела.
- Единица мощности.

§ 25. Строение вещества

В физике не только наблюдают и описывают явления и свойства тел, но и стремятся объяснить, почему они протекают так, а не иначе. Например, почему вода растекается, когда ее проливают на пол, а на горячей сковородке она собирается в капли? Почему газ легко сжать, а твердое тело и жидкость — очень трудно? Почему нагретый кусок стали легче изогнуть и расплощить, чем холодный? Ответить на эти и многие другие вопросы можно, но для этого нужно знать строение вещества.

Знания о строении вещества позволяют не только объяснять многие физические явления. Они помогают предсказывать, как будет происходить явление, что нужно сделать, чтобы его ускорить или замедлить, т. е. помогают управлять явлениями.

Изучив строение тел, можно объяснить их свойства, а также создать новые вещества с нужными свойствами — твердые и прочные сплавы, жароупорные материалы, пластмассу, искусственный каучук, капрон, лавсан и др.

Все эти материалы нашли широкое применение в технике, медицине, быту.

О строении вещества позволяют судить некоторые явления и опыты.

Если сжать руками мяч, то объем воздуха, заполняющего мяч, уменьшится. Приложив силу, можно уменьшить и объем куска резины, воска.

Но изменение объема происходит не только из-за механического действия на тело.

Стальной шарик, свободно проходящий через кольцо в холодном состоянии (рис. 65, а), после нагревания расширяется и застревает в кольце (рис. 65, б). Остыв, шарик сжимается и снова проходит сквозь кольцо.

При нагревании расширяются не только твердые тела, но

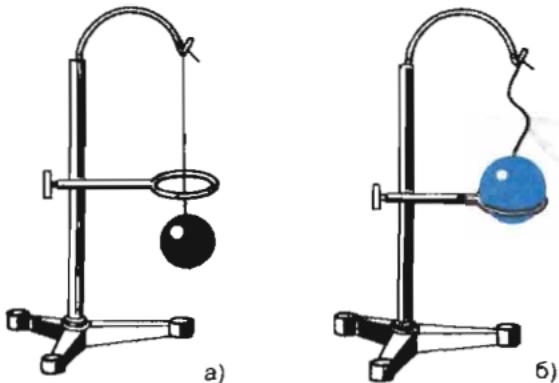


Рис. 65

и жидкости. Опыт, изображенный на рисунке 66, показывает, как изменяется уровень жидкости в колбе при нагревании сосуда с жидкостью пламенем горелки.

Итак, опыты показывают, что объем тела может изменяться: уменьшаться или увеличиваться. Чем можно объяснить способность тел изменять свой объем?

Объясняется это тем, что вещества состоят из отдельных частиц, между которыми есть промежутки. Когда эти частицы отдвигаются друг от друга, объем тела увеличивается. При сближении частиц объем тела уменьшается.

Гипотеза о том, что все вещества состоят из мельчайших частиц, была высказана древнегреческими учеными. Они обосновывали ее тем, что распространение запаха, испарение жидкостей,

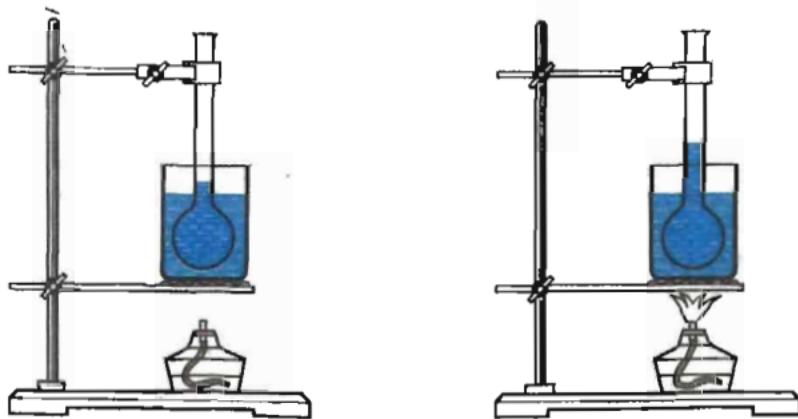


Рис. 66

постепенное уменьшение объема камня под действием волн объясняются отделением от тел мельчайших частиц.

Почему же тогда все вещества — вода, сталь, дерево — кажутся нам сплошными?

Дело в том, что частицы, из которых состоят вещества, чрезвычайно малы и расположены на очень малых расстояниях друг от друга.

Представление о размерах этих частиц дает следующий опыт (рис. 67). Маленькую крупинку краски растворяют в воде, налитой в сосуд. Затем немного окрашенной воды отливают в другой сосуд и доливают в него чистую воду. Во втором сосуде раствор окрашен слабее, чем в первом. Из второго отливают немного раствора в третий сосуд и опять доливают в него чистую воду. Так проделывают несколько раз и с каждым разом убеждаются, что раствор становится все более светлым.

Рассмотрим последний раствор. Он хотя и очень слабо, но равномерно окрашен. Следовательно, в каждой его капле содержатся частицы краски. А ведь в воде растворили очень маленькую крупинку краски, и лишь часть ее попала в последний раствор. Значит, крупинка состояла из очень большого числа частиц, размеры которых чрезвычайно малы.

Эти и многие другие явления и опыты подтверждают гипотезу о том, что все тела состоят из очень маленьких частиц. Что же это за частицы? Об этом будет рассказано в следующем параграфе.

- ???
1. Для чего нужно знать строение вещества? 2. Какие вы знаете материалы, созданные человеком?
 3. Чем объясняется способность тел изменять свой объем?
 4. Какие явления показывают, что тела состоят из мельчайших частиц, между которыми есть промежутки?
 5. Почему, несмотря на сложное строение, все вещества нам кажутся сплошными?

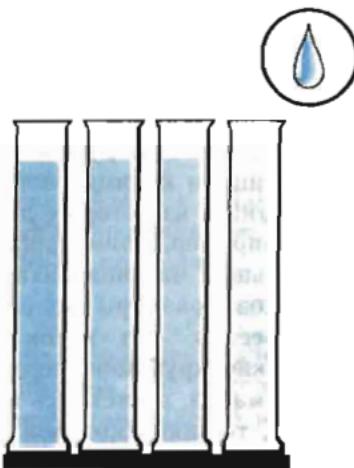


Рис. 67

§ 26. Молекулы и атомы

Гипотеза о том, что все вещества состоят из отдельных мельчайших частиц, появилась очень давно, более двух тысяч лет назад. Но лишь на рубеже XIX — XX вв. было установлено, что это за частицы и какими свойствами они обладают.

Частицы, из которых состоят вещества, называют **молекулами**. Так, например, наименьшая частица воды — это молекула воды, наименьшая частица сахара — это молекула сахара и т. д.

Каковы размеры молекул?

Известно, что кусок сахара можно растолочь на очень маленькие крупинки, зерно пшеницы можно размолоть в муку. Капля масла, растекаясь по поверхности воды, может образовать пленку, толщина которой в десятки тысяч раз меньше диаметра человеческого волоса. Но в крупинке муки и в толще масляной пленки содержится не одна, а много молекул. Значит, размеры молекул этих веществ еще меньше, чем размеры крупинки муки и толщина пленки.

Можно привести следующее сравнение: молекула во столько же раз меньше яблока среднего размера, во сколько раз яблоко меньше земного шара. Если бы размеры всех тел увеличились в миллион раз (при этом толщина человеческого пальца стала бы равной 10 км), то и тогда молекула оказалась бы размером всего в половину точки печатного шрифта этого учебника.

Молекулы невозможно увидеть невооруженным глазом. Они настолько малы, что их нельзя разглядеть даже с помощью микроскопа, дающего 1000-кратное увеличение.

Биологам известны микроорганизмы (например, бактерии) размером 0,001 мм. Молекулы же в сотни и тысячи раз меньше.

Для определения размеров молекул были проведены разные опыты. Опишем один из них.

В чисто вымытый большой сосуд налили воду и на ее поверхность поместили каплю масла. Масло начало растекаться по поверхности воды, образуя пленку. По мере растекания масла толщина пленки становилась все меньше и меньше. Через некоторое время растекание прекратилось. Если предположить, что это произошло из-за того, что все молекулы масла оказались на поверхности воды (образуя пленку толщиной в одну молекулу), то для определения диаметра молекулы достаточно найти толщину образовавшейся пленки.

Толщина пленки h равна отношению ее объема V к площади S :

$$h = \frac{V}{S} . \quad (26.1)$$

Объем пленки — это объем той капли, которую поместили на поверхность воды. Его измеряют заранее; для этого пользуются измерительным цилиндром — мензуркой. При помощи пипетки в пустую мензурку капают несколько десятков капель масла и измеряют их общий объем; разделив затем этот объем на число капель, находят объем одной капли.

В описываемом опыте капля имела объем $V = 0,0009 \text{ см}^3$, а площадь образовавшейся из нее пленки была равна $S = 5500 \text{ см}^2$. Подставив эти значения в формулу (26.1), получим

$$h = 0,00000016 \text{ см.}$$

Этим числом и выражается примерный размер молекулы масла.

Так как молекулы очень малы, то в каждом теле их содержится огромное количество. Чтобы создать представление об их числе, приведем пример: если в детском резиновом шарике, наполненном водородом, сделать такой тонкий прокол, что из него каждую секунду будет выходить по миллиону молекул, то для вылета всех молекул из шарика понадобится 30 миллиардов лет! И это при том, что масса водорода, наполнявшего шарик, составляла всего 3 г.

Хотя молекулы и очень маленькие частицы, но и они делимы. Частицы, из которых состоят молекулы, называют **атомами**.

Атомы каждого вида принято обозначать специальными символами. Например:

атом кислорода — O,

атом водорода — H,

атом углерода — C.

Специальные символы (так называемые химические формулы) существуют и для обозначения молекул. Например, молекула **кислорода** состоит из двух одинаковых атомов кислорода, поэтому для ее обозначения применяют следующую химическую формулу: O₂. Молекула **воды** состоит из трех атомов: одного атoma кислорода и двух атомов водорода, поэтому ее обозначают H₂O.

На рисунке 68 дано условное изображение двух молекул воды. При делении двух молекул воды получаются два атoma кислорода и четы-

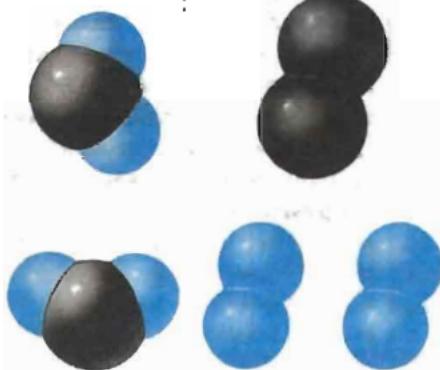


Рис. 68

Рис. 69



Рис. 70

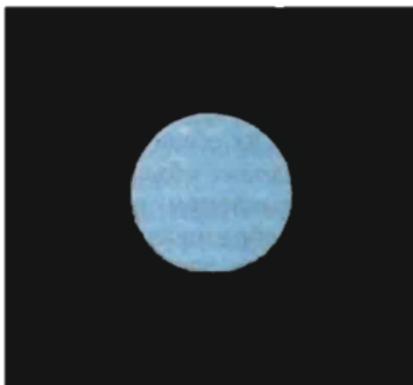


Рис. 71

ре атома водорода. Каждые два атома водорода могут объединиться в молекулу водорода, а атомы кислорода — в молекулу кислорода, что схематически показано на рисунке 69.

Современная техника позволяет получить фотографии отдельных атомов и молекул. На рисунке 70 приведен снимок молекулы фторида мышьяка, полученный с помощью электронно-голографического микроскопа, дающего увеличение в 70 миллионов раз. Фотографию отдельного атома можно увидеть на рисунке 71: это изображение атома аргона, увеличенное в 260 миллионов раз.

Атомы очень маленькие частицы, но и они имеют сложное строение. Существуют еще более мелкие частицы, о которых вы узнаете позже.

- ???
1. Как называются частицы, из которых состоят вещества?
 2. Опишите опыт, с помощью которого можно определить размер молекулы.
 3. Как называются частицы, из которых состоят молекулы?
 4. Из каких атомов состоит молекула воды? Что означает формула H_2O ?
 5. Напишите химическую формулу молекулы водорода, если известно, что эта молекула состоит из двух одинаковых атомов водорода.
 6. Из скольких (и каких) атомов состоит молекула углекислого газа, если ее химическая формула имеет вид CO_2 ?

§ 27. Диффузия

Если в комнату внести какое-нибудь пахучее вещество, например эфир, то его запах через некоторое время будет ощущаться по всей комнате. Почему это происходит?

Распространение запаха объясняется движением молекул. Это движение носит непрерывный и беспорядочный характер. Столкваясь с молекулами газов, входящих в состав воздуха, молекулы эфира много раз меняют направление своего движения и, беспорядочно перемещаясь, разлетаются по всей комнате.

То, что молекулы всех тел непрерывно и беспорядочно движутся, подтверждается и другими многочисленными опытами. Рассмотрим один из них.

В стеклянный сосуд наливают водный раствор медного купороса. Этот раствор имеет темно-голубой цвет. Поверх раствора в сосуд очень осторожно, чтобы не смешать жидкости, наливают чистую воду. Медный купорос тяжелее воды и потому остается внизу сосуда.

В начале опыта между двумя жидкостями видна резкая граница. Оставим сосуд в покое. Через несколько дней можно заметить, что граница раздела между жидкостями расплылась. А недели через две эта граница вообще исчезнет и в сосуде будет находиться однородная жидкость бледно-голубого цвета (рис. 72). Это означает, что жидкости перемешались. Самопроизвольное перемешивание веществ называется диффузией.

Диффузия объясняется так (рис. 73). Сначала вследствие своего движения отдельные молекулы воды и медного купороса, находящиеся около границы между ними, обмениваются местами. Молекулы медного купороса попадают в нижний слой воды, а молекулы воды — в верхний слой раствора медного купороса. Граница между жидкостями из-за этого расплывается. Проникнув внутрь «чужой» жидкости, молекулы начинают обмениваться местами с ее частицами, находящимися во все более глубоких слоях. Граница раздела жидкостей становится еще более расплывчатой. Благодаря непрерывному и беспорядочному движению молекул этот процесс приводит в конце концов к тому, что вся жидкость в сосуде становится однородной.

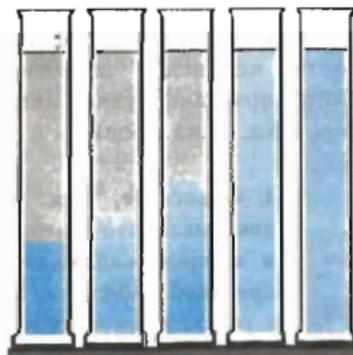


Рис. 72

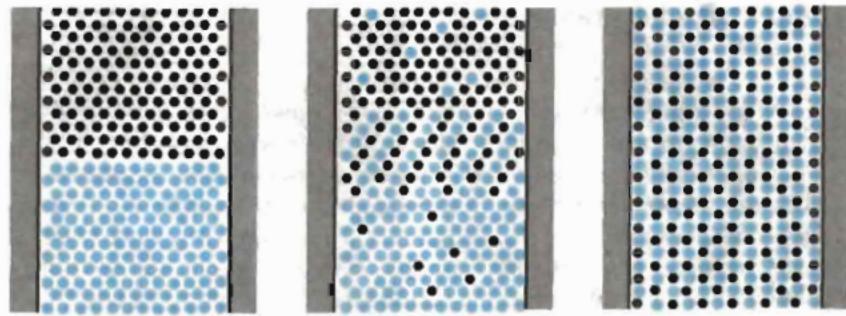


Рис. 73

Итак, причиной диффузии является непрерывное и беспорядочное движение частиц вещества. При диффузии частицы одного вещества проникают в промежутки между частицами другого вещества, и вещества перемешиваются.

Диффузия может происходить и в газах, и в жидкостях, и в твердых телах.

Наиболее быстро диффузия происходит в газах (именно поэтому так быстро распространяется запах в воздухе).

В жидкостях диффузия происходит медленнее, чем в газах. Это объясняется тем, что молекулы жидкости расположены значительно гуще, и потому «пробираться» через них значительно труднее.

Медленнее всего диффузия происходит в твердых телах. В одном из опытов гладко отшлифованные пластины свинца и золота положили одна на другую и сжали грузом. Через пять лет золото и свинец проникли друг в друга на 1 мм.

Скорость протекания диффузии увеличивается с ростом температуры.

Диффузия имеет большое значение в процессах жизнедеятельности человека, животных и растений. Например, именно благодаря диффузии кислород из легких проникает в кровь человека, а из крови — в ткани.

???

1. Объясните, как распространяется эфир в комнате. Что доказывает это явление?
2. Что такое диффузия?
3. Опишите опыт, в котором наблюдают диффузию жидкостей.
4. Что является причиной диффузии?
5. Однаково ли быстро протекает диффузия в газах, жидкостях и твердых телах? Приведите примеры.
6. На каком явлении основана засолка овощей?
7. Объясните, каким образом молекулы кислорода из воздуха попадают в воду рек, фонтанов и других водоемов.

△ Экспериментальное задание. Положите на дно стакана крупинку марганцовки (калия перманганат) и сверху налейте холодную воду. Не перемешивая воду, определите, через какое время молекулы марганцовки попадут в верхний слой воды. Измерив высоту уровня воды, вычислите скорость протекания диффузии.

§ 28. Взаимодействие молекул

Твердые тела и жидкости не распадаются на отдельные молекулы, несмотря на то что их молекулы разделены промежутками и находятся в непрерывном беспорядочном движении.

Более того, твердое тело, например, трудно растянуть или сломать. Чем же объяснить, что молекулы в телах не только удерживаются друг около друга, но и в некоторых случаях промежутки между ними трудно увеличить? Дело в том, что *между молекулами тела существует взаимное притяжение*. Каждая молекула притягивает к себе соседние молекулы и сама притягивается к ним.

Однако если мы разломим кусочек мела на две части и снова соединим их, то они уже не будут удерживаться друг около друга. Почему?

Притяжение между молекулами становится заметным лишь тогда, когда они находятся очень близко одна от другой. Уже на расстоянии, размером несколько большем самих молекул, притяжение молекул значительно ослабевает и перестает проявляться. Ничтожно малой щели между частичками двух кусочков мела (меньше 0,000001 см) уже достаточно, чтобы притяжение между молекулами практически исчезло.

Почему же тогда слипаются куски замазки или пластилина? Именно потому, что их можно сблизить на такое расстояние, на котором большинство молекул начинает удерживаться силами притяжения друг возле друга.

Слипаются и не разрываются даже при сравнительно большой нагрузке (рис. 74) и два куска свинца, очень плотно прижатые друг к другу свежими ровными срезами. И наоборот, кусочки разбитого стекла не слипаются друг с другом, потому что они соприкасаются только в некоторых точках, и большинство их молекул оказывается на расстояниях, на которых притяжение молекул является слишком слабым.



Рис. 74

Если, однако, края стеклянных осколков или кусков каких-либо металлов нагреть так, что они начнут плавиться, то при их соединении молекулы окажутся в области действия сил притяжения, и куски слипнутся. На этом основана сварка металлов, а также спайка и склеивание.

Итак, между молекулами существует взаимное притяжение. Это притяжение заметно проявляется лишь на расстояниях, которые сравнимы с размерами самих молекул.

Но тогда возникает вопрос: почему существуют промежутки между молекулами? Казалось бы, молекулы должны притянуться друг к другу и слипнуться. Не происходит этого потому, что между молекулами одновременно с притяжением существует и отталкивание. При сближении молекул до расстояний, сравнимых с размерами самих молекул, сначала начинает проявляться притяжение, а при дальнейшем сближении — отталкивание молекул, которое начинает преобладать над притяжением.

Именно отталкиванием молекул друг от друга обусловлено то, что многие сжатые предметы распрямляются. При сжатии этих тел мы так сближаем их молекулы, что отталкивание оказывается сильнее их взаимного притяжения. Это и приводит к распрямлению пружин и других упругих тел.

Итак, молекулы вещества взаимодействуют друг с другом. Это взаимодействие может проявляться как в форме притяжения молекул, так и форме их отталкивания друг от друга.

???

1. Почему твердые тела и жидкости не распадаются сами собой на отдельные молекулы?
2. Почему два куска мела не соединяются в одно целое при соприкосновении, а два куска пластилина соединяются?
3. Какие явления указывают на то, что молекулы тела могут отталкиваться друг от друга?

§ 29. Смачивание и капиллярность

Молекулы разных веществ притягиваются друг к другу с разной силой. Пронаблюдаем это на опыте.

Подвесим на тонкой пружине стеклянную пластину и поднесем к ней снизу сосуд с водой (рис. 75, а). Когда пластина коснется воды, начнем поднимать ее вместе с пружиной вверх. Мы увидим, что пластина как бы прилипла к воде и продолжает оставаться на ее поверхности, несмотря на то что пружина растягивается все сильнее и сильнее (рис. 75, б). Когда сила упругости пружины превысит силу межмолекулярного притяжения, удерживающую пластину на поверхности воды, пластина оторвется от воды (рис. 75, в). При этом на нижней поверхности пластины останется тонкий

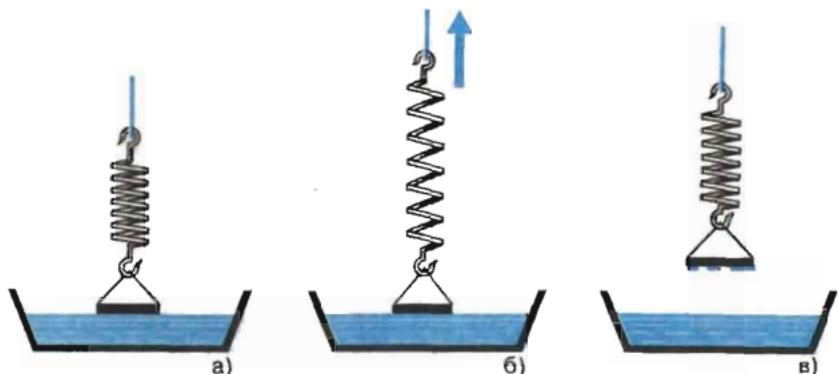


Рис. 75

слой воды. Наличие этого слоя на стекле говорит о том, что разрыв произошел не в местах соприкосновения молекул воды с молекулами стекла, а там, где молекулы воды соприкасались друг с другом. Отсюда следует, что сила притяжения молекул воды друг к другу слабее силы притяжения молекул воды к стеклу.

В тех случаях, когда молекулы жидкости притягиваются к молекулам твердого тела сильнее, чем друг к другу, жидкость растекается по твердому телу и образует на его поверхности тонкую пленку. Растекание жидкости по поверхности твердого тела называют **смачиванием** этого тела.

Так, например, вода смачивает стекло, дерево, кожу и многие другие вещества.

Если, однако, опустить в воду пластину, изготовленную не из стекла, а, например, из воска или парафина, то, вынув эту пластину из воды, мы найдем ее сухой. Это означает, что вода не смачивает воск и парафин. Вода не смачивает также все жирные поверхности.

Несмачиваемость объясняется тем, что молекулы жидкости сильнее притягиваются друг к другу, чем к молекулам твердого тела.

Когда жидкость не смачивает твердое тело, она не растекается по его поверхности тонкой пленкой, а собирается в круглые капельки. Такие капельки (или шарики) образует, например, ртуть на стекле. Не смачивается ртутью и чугун. А вот золото и цинк ртутью смачиваются.

Явления смачивания и несмачивания учитывают и используют на практике. Мы вытираемся полотенцами, сделанными из ткани, смачиваемой водой. Хорошее смачивание необходимо при крашении и стирке, обработке фотографических материалов, нанесении лакокрасочных покрытий, склеивании различных материалов и т. д.

Водоплавающие птицы смазывают при помощи клюва свои перья жиром, выделяемым особой железой. Поэтому их перья не смачиваются водой, а пух, находящийся под перьями, остается сухим. Благодаря этому птица не мерзнет в холодной воде и удерживается на ее поверхности.

Очень опасны для птиц загрязнения воды нефтью. Нефть смачивает перья птиц, вода проникает в слой пуха, и птица, намокнув, может замерзнуть и утонуть.

Смачиванием обусловлено и такое явление, как **капиллярность**. Заключается оно в том, что под действием молекулярных сил смачивающая жидкость поднимается вверх по очень тонким трубкам, называемым капиллярами. Латинское слово «капиллус» означает «волос». Отсюда и название тонких трубок — **капилляры**. Их диаметр составляет миллиметр и менее.

Чем тоньше капилляр, тем на большую высоту в нем поднимается смачивающая его жидкость.

В природе капилляры встречаются довольно часто. Многие из окружающих нас тел имеют пористое строение: они пронизаны множеством мелких, иногда незаметных для глаз капилляров. К таким телам относятся дерево, бумага, кожа, почва, ткань, вата, различные строительные материалы. Вода и другие смачивающие их жидкости, соприкасаясь с такими телами, «втягиваются» в их капилляры и начинают перемещаться по всем направлениям внутри тел. Именно поэтому так быстро намокают кусочки ваты (или сахара), едва коснувшись воды. По этой же причине влага легко проникает в обычные кирпичи, а керосин поднимается по фитилю керосиновой лампы.

Капиллярные явления играют существенную роль в водоснабжении растений и перемещении влаги в почве. В сухую погоду почва ссыхается, и в ней образуются трещины — капилляры. По ним вода поднимается из-под земли вверх и испаряется. Поверхность земли из-за этого высыхает еще больше. Для сохранения влаги внутри земли верхний слой почвы разрыхляют. При этом капилляры разрушаются и вода остается в почве.

И наоборот, когда почва слишком влажная, ее укатывают. Капилляры в ней делаются тоньше, и глубина, с которой поднимается по ним жидкость, увеличивается. Поднимаясь наверх, вода испаряется, и почва постепенно высыхает.

- ???
1. Опишите опыт, в котором наблюдается смачивание стекла водой.
 2. Приведите примеры жидкостей, смачивающих и не смачивающих те или иные твердые тела. 3. Как объясняются явления смачивания и несмачивания на основе представления о взаимодействии молекул? 4. Почему маленькие капли росы на листьях некоторых

растений имеют форму шариков, тогда как на листьях других растений роса растекается тонким слоем? 5. Для чего водоплавающие птицы смазывают свои перья жиром? 6. Что представляют собой капилляры? 7. Почему растекаются чернила при письме на бумаге плохого качества? 8. Почему мокрые руки плохо вытираются шелковой тканью? 9. На чем основаны такие способы регулировки водного режима почвы, как прикатка и боронование? 10. Почему два сухих листочка бумаги не слипаются, если их приложить друг к другу, а смоченные водой слипаются? 11. Слипнутся ли два листочка бумаги, если один из них смочить водой, а другой — растительным маслом? Почему?

§ 30. Агрегатные состояния вещества

Зимой вода на поверхности озер и рек замерзает, превращаясь в лед. Подо льдом вода остается жидкой (рис. 76). Здесь одновременно существуют два различных состояния воды — твердое (лед) и жидкое (вода). Существует и третье состояние воды — газообразное: невидимый водяной пар находится в окружающем нас воздухе.

На примере воды мы видим, что вещества могут находиться в трех агрегатных состояниях — твердом, жидком и газообразном.

Жидкую ртуть можно увидеть в резервуаре термометра. Над поверхностью ртути находятся ее пары, которые представляют собой газообразное состояние ртути. При температуре -39°C ртуть замерзает, переходя в твердое состояние.

Кислород в окружающем нас воздухе представляет собой газ. Но при температуре -193°C он превращается в жидкость. Охладив эту жидкость до -219°C , мы получим твердый кислород.

И наоборот, железо в обычных условиях твердое. Однако при температуре 1535°C железо плавится и превращается в жидкость. Над расплавленным железом будет находиться газ — пар из атомов железа.

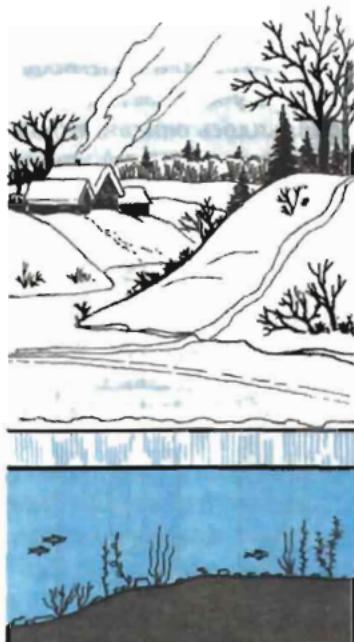


Рис. 76



Рис. 77

Свойства вещества в различных агрегатных состояниях различны.

Твердое тело в обычных условиях трудно сжать или растянуть. В отсутствие внешних воздействий оно сохраняет свою форму и объем.

Жидкость легко меняет свою форму. В обычных условиях она принимает форму сосуда, в котором находится (рис. 77). Но в состоянии невесомости (например, на орбитальной космической станции) жидкость характеризуется своей собственной — сферической — формой. Сферическую форму (форму шарика) имеют и маленькие дождевые капельки.

Свойство жидкости легко изменять свою форму учитывают, когда изготавливают посуду из расплавленного стекла (рис. 78).

Форму жидкости изменить легко, но объем ее изменить трудно. Сохранилось описание одного исторического опыта, в котором воду пробовали сжать таким способом. Ее налили в свинцовый шар

и шар запаяли, чтобы вода не могла выливаться при сжатии. После этого ударили по свинцовому шару тяжелым молотом. И что же? Вода не сжалась вместе с шаром, а просочилась сквозь его стенки.

Итак, жидкости легко меняют свою форму, но сохраняют свой объем.

Газ не имеет своего собственного объема и не обладает собственной формой. Он всегда заполняет всю предоставленную ему емкость.

Чтобы исследовать свойства газов, необязательно располагать газом, имеющим цвет. Воздух, например, бесцветен, и мы его не видим. Но при быстром движении, находясь у окна автомобиля

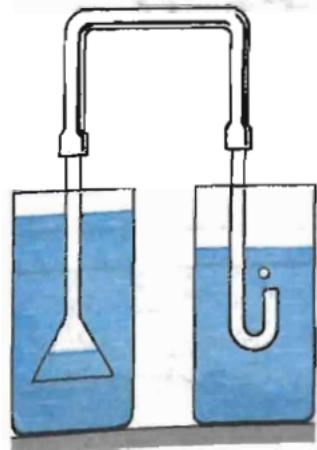


Рис. 78

Рис. 79

или поезда, а также когда дует ветер, мы замечаем присутствие воздуха вокруг нас. Его можно обнаружить и при помощи опытов.

Опустим в воду перевернутый вверх дном стакан — вода не заполнит стакан, так как в нем останется воздух. Если опускать в воду воронку, соединенную резиновым шлангом со стеклянной трубкой (рис. 79), то воздух начнет выходить из нее наружу.

Объем газа изменить нетрудно. Нажав на резиновый мяч, мы заметно уменьшим объем воздуха, находящегося в мяче.

Попав в какой-нибудь сосуд или помещение, газ заполняет их целиком, принимая как их форму, так и объем.

- ???
1. В каких трех агрегатных состояниях может находиться любое вещество? Приведите примеры.
 2. Тело сохраняет свой объем, но легко меняет форму. В каком состоянии находится это тело?
 3. Тело сохраняет свою форму и объем. В каком состоянии находится это тело?
 4. Что вы можете сказать о форме и объеме газа?

§ 31. Строение твердых, жидкых и газообразных тел

Опыты и примеры показали нам, какие свойства имеют твердые, жидкые и газообразные тела.

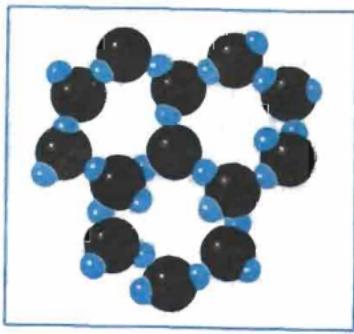
Знания о строении вещества помогут объяснить эти свойства.

Лед, вода и водяной пар — три агрегатных состояния одного и того же вещества — воды. Значит, молекулы льда, воды и водяного пара не отличаются друг от друга. А раз так, то эти три состояния различаются не молекулами, а тем, как эти молекулы расположены и как движутся.

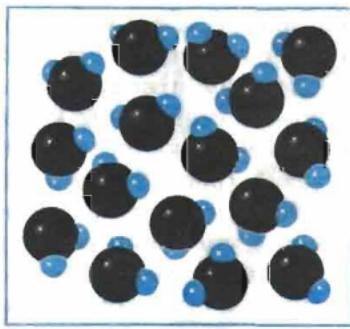
Как же расположены и как движутся молекулы газа, жидкости и твердого тела?

Газ можно сжать так, что его объем уменьшится в несколько раз. Значит, в газах расстояние между молекулами много больше размеров самих молекул. В среднем расстояния между молекулами газов в десятки раз больше размеров самих молекул. На таких расстояниях молекулы очень слабо притягиваются друг к другу. По этой причине газы не имеют собственной формы и постоянного объема. Нельзя заполнить газом, например, половину бутылки или стакана, так как, двигаясь во всех направлениях и почти не притягиваясь друг к другу, молекулы газа быстро заполнят весь сосуд.

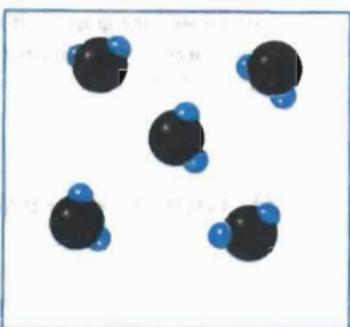
Свойства жидкостей объясняются тем, что промежутки между их молекулами малы: молекулы в жидкостях упакованы так плотно, что расстояние между каждыми двумя молекулами меньше



а)



б)



в)

Рис. 80

размеров молекул. На таких расстояниях притяжение молекул друг к другу уже значительно. Поэтому молекулы жидкости не расходятся на большие расстояния и жидкость в обычных условиях сохраняет свой объем. Однако притяжение молекул жидкости еще не настолько велико, чтобы жидкость сохраняла свою форму. Этим объясняется то, что жидкости в условиях действия силы тяжести принимают форму сосуда, в котором находятся, и то, что их легко разбрьзгивать и перелить в другой сосуд.

Сжимая жидкость, мы сближаем ее молекулы настолько, что они начинают отталкиваться друг от друга. Вот почему жидкость так трудно сжать.

Твердые тела в обычных условиях сохраняют и объем, и форму. Это объясняется тем, что притяжение между их частицами еще больше, чем у жидкостей.

Частицы (молекулы или атомы) большинства твердых тел, таких, как лед, соль, алмаз, металлы, расположены в определенном порядке.

Такие твердые тела называют *кристаллическими*. Хотя частицы этих тел и находятся в движении, но движение это представляет собой колебания около определенных точек (положений равновесия). Частицы не могут уйти далеко от этих точек, поэтому твердое тело сохраняет свою форму и объем.

На рисунке 80 показано расположение молекул одного и того же вещества — воды в трех разных состояниях: твердом (а), жидком (б) и газообразном (в). Различие в расположении

и движении молекул в этих состояниях объясняет различие в свойствах льда, воды и водяного пара.

Подведем итоги. Изучение строения вещества показывает, что:

1) все вещества состоят из мельчайших частиц — молекул и атомов;

2) частицы вещества непрерывно и беспорядочно движутся;

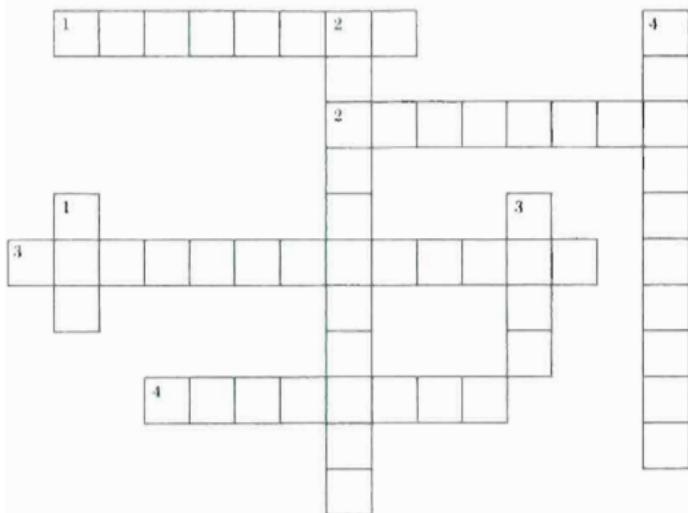
3) частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

Эти три положения называют **основными положениями молекулярно-кинетической¹ теории** строения вещества.

- ??? 1. Имеется ли отличие между молекулами льда, воды и водяного пара? 2. Почему газы заполняют весь предоставленный им сосуд? 3. Чем объясняется очень малая сжимаемость жидкостей? 4. Почему кристаллические тела сохраняют свою форму и объем? 5. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории.

¹ От греческого слова «кинема» — движение.

КРОССВОРД «ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ — 4»



о горизонтали:

1. Агрегатное состояние, в котором вещество, сохраняя свой объем, принимает форму сосуда, в котором находится.
2. Мельчайшая частица вещества.
3. Подъем смачивающей жидкости по тонким трубкам.
4. Самопроизвольное перемешивание веществ.

о вертикали:

1. Состояние вещества, характеризующееся отсутствием своего объема и формы.
2. Физическая величина, от которой зависит быстрота протекания диффузии.
3. Частица, входящая в состав молекулы.
4. Растекание жидкости по поверхности твердого тела.

§ 32. Давление и сила давления

Проделаем опыт. Возьмем небольшую доску, в углы которой вбиты четыре гвоздя, и поместим ее остриями вверх на песок. Сверху на нее положим гирю (рис. 81). Мы увидим, что шляпки гвоздей лишь незначительно вдавятся в песок. Если же мы перевернем доску и снова поставим ее (вместе с гирей) на песок, то теперь гвозди войдут в него значительно глубже (рис. 82). В обоих случаях вес доски был одним и тем же, однако эффект оказался разным. Почему?

Вся разница в рассматриваемых случаях заключалась в том, что площадь поверхности, на которую опирались гвозди, в одном случае была больше, а в другом меньше. Ведь сначала песка касались шляпки гвоздей, а затем их острия.

Мы видим, что результат воздействия зависит не только от силы, с которой тело давит на поверхность, но и от площади этой

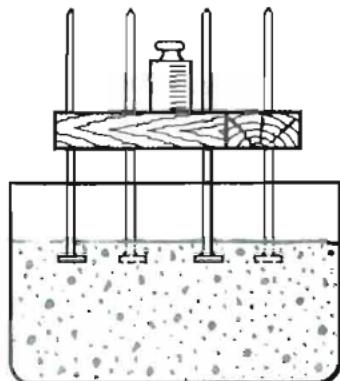


Рис. 81

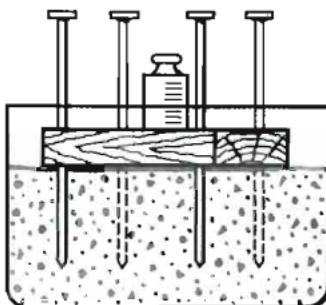


Рис. 82



Рис. 83

ют силой давления на эту поверхность.

Силу давления не следует путать с давлением. **Давление** — это физическая величина, равная отношению силы давления, приложенной к данной поверхности, к площади этой поверхности:

$$p = \frac{F}{S}, \quad (32.1)$$

где

p — давление, F — сила давления, S — площадь.

Итак, чтобы определить давление, надо силу давления разделить на площадь поверхности, на которую оказывается давление.

При одной и той же силе давление больше в том случае, когда площадь опоры меньше, и, наоборот, чем больше площадь опоры, тем давление меньше.

В тех случаях, когда силой давления является вес находящегося на поверхности тела ($F = P = mg$), давление, оказываемое телом, можно найти по формуле

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

Если давление p и площадь S известны, то можно определить силу давления F ; для этого надо давление умножить на площадь:

$$F = pS. \quad (32.2)$$

Сила давления (как и любая другая сила) измеряется в ньютонах. Давление же измеряется в паскалях. *Паскаль* (1 Па) — это такое давление, которое производит сила давления в 1 Н, будучи приложенной к поверхности площадью 1 м²:

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

Используются также другие единицы давления — гектопаскаль (гПа) и килопаскаль (кПа):

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}, 1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}.$$

- ???
1. Приведите примеры, показывающие, что результат действия силы зависит от площади опоры, на которую действует эта сила.
 2. Почему человек, идущий на лыжах, не проваливается в снег?
 3. Почему острая кнопка легче входит в дерево, чем тупая? 4. Что называют давлением? 5. Какие вы знаете единицы давления? 6. Чем отличается давление от силы давления? 7. Как можно найти силу давления, зная давление и площадь поверхности, к которой приложена сила?

§ 33. Давление в природе и технике

Мы знаем, что, чем больше площадь опоры, тем меньше давление, производимое данной силой, и наоборот, с уменьшением площади опоры (при неизменной силе) давление возрастает. Поэтому, в зависимости от того, хотят ли получить малое или большое давление, площадь опоры увеличивают или уменьшают. Например, для того чтобы грунт мог выдержать давление возводимого здания, увеличивают площадь нижней части фундамента.

Шины грузовых автомобилей и шасси самолетов делают значительно шире, чем легковых (рис. 84). Особенно широкими делают шины у автомобилей, предназначенных для передвижения в пустынях.

Тяжелые машины, такие, как трактор, танк или болотоход, имея большую опорную площадь гусениц, иногда могут проехать по такой (например, болотистой) местности, по которой не всегда пройдет человек.

С другой стороны, при малой площади поверхности можно небольшой силой создать очень большое давление. Например, вдавливая кнопку в доску, мы действуем на нее с силой около 50 Н. Так как площадь острия кнопки составляет примерно 1 мм² (т. е. 0,000001 м²), то давление, производимое ею, оказывается равным:

$$p = \frac{50 \text{ Н}}{0,000001 \text{ м}^2} = 50\,000\,000 \text{ Па} = 50\,000 \text{ кПа}.$$



Рис. 84

Это давление в тысячу раз больше давления, производимого гусеничным трактором на почву (см. таблицу 6)!

Таблица 6
Давление, кПа

«Луноход-2»	5
Мальчик массой 45 кг	15
Гусеничный трактор	50
Легковой автомобиль	150

Лезвия режущих и острия колющих инструментов (ножей, резцов, ножниц, пил, игл и др.) остро оттачивают. Их острые края имеют маленькую площадь соприкосновения с обрабатываемой поверхностью, благодаря чему даже при небольшой силе воздействия создается весьма значительное давление на предмет. Поэтому работать остро заточенным инструментом легче, чем тупым.

Режущие и колющие приспособления встречаются и в живой природе. Это клыки, когти, клювы, шипы и т. д.

- ???
1. Приведите примеры использования больших площадей опоры для уменьшения давления. 2. Почему режущие и колющие инструменты оказывают на тела очень большое давление? 3. На рисунке 85 изображены плоскогубцы и клещи. При помощи какого



Рис. 85

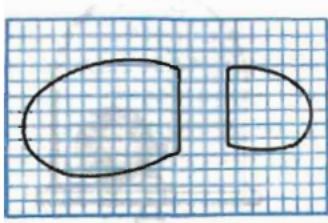


Рис. 86

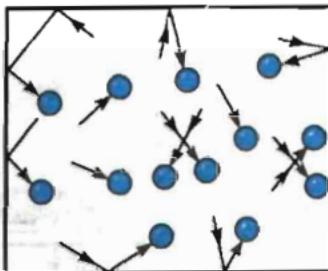


Рис. 87

из этих инструментов можно произвести большее давление на зажатый предмет, прикладывая одинаковую силу? Почему?



Экспериментальное задание. Зная свою массу и площадь опоры ботинка, найдите давление, которое вы производите, стоя на земле. Площадь опоры ботинка определите следующим образом. Поставьте ногу на лист бумаги в клетку и обведите контур той части подошвы, на которую опирается нога (рис. 86). Сосчитайте число полных квадратиков, попавших внутрь контура, и прибавьте к нему половину числа неполных квадратиков, через которые прошла линия контура. Полученное число умножьте на площадь одного квадратика (площадь квадратика на листе, взятом из школьной тетради, равна $0,25 \text{ см}^2$) и найдите площадь подошвы.

§ 34. Давление газа

Мы знаем, что газы в отличие от твердых тел и жидкостей заполняют весь сосуд, в котором они находятся (например, стальной баллон для хранения газов, камеру автомобильной шины и т. д.). При этом газ оказывает давление на стенки, дно и крышку баллона или камеры, в которых он находится. Чем обусловлено это давление?

Молекулы газа беспорядочно движутся. При своем движении они сталкиваются друг с другом, а также со стенками сосуда, в котором находится газ (рис. 87). Газ состоит из огромного количества молекул, поэтому и число их ударов очень велико. Например, в комнате, в которой вы сейчас находитесь, на каждый квадратный сантиметр за 1 с молекулами воздуха наносится столько ударов, что их количество выражается двадцатитрехзначным числом. Хотя сила удара отдельной молекулы мала, но действие всех молекул о стенки сосуда приводит к значительному давлению.

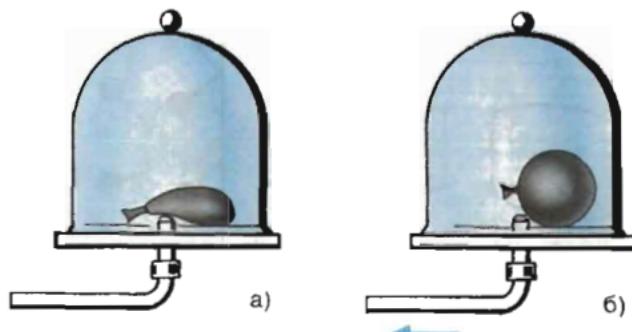


Рис. 88

Итак, в газах давление создается ударами беспорядочно движущихся молекул.

Рассмотрим следующий опыт. Под колокол воздушного насоса помещают завязанный резиновый шарик. Он содержит небольшое количество воздуха и имеет неправильную форму (рис. 88, а). Затем насосом откачивают воздух из-под колокола. Оболочка шарика, вокруг которой воздух становится все более разреженным, постепенно раздувается и принимает сферическую форму (рис. 88, б).

Как можно это объяснить?

Мы знаем, что молекулы воздуха движутся и потому непрерывно ударяют о стенки шарика внутри и снаружи. При откачивании воздуха число молекул под колоколом вокруг оболочки шарика уменьшается. Но внутри завязанного шарика их число не изменяется. Поэтому число ударов молекул о внешнюю поверхность оболочки становится меньше числа ударов о внутреннюю поверхность. Из-за этого шарик раздувается и принимает такие размеры, при которых сила упругости его резиновой оболочки становится равной силе давления газа, находящегося внутри его.

Сферическая форма, которую принимает раздутая оболочка шарика показывает, что газ оказывает по всем направлениям *одинаковое давление*.

Выясним, как зависит давление газа от его объема. Температуру газа будем считать постоянной.

Если объем газа уменьшить, но так, чтобы масса его осталась неизменной, то в каждом кубическом сантиметре газа молекул станет больше. Это означает, что плотность газа увеличится. Тогда число ударов молекул о стенки сосуда возрастет и давление газа станет больше. Это можно подтвердить опытом.

На рисунке 89, а изображен стеклянный цилиндр, один конец

которого закрыт тонкой резиновой пленкой. В цилиндр вставлен поршень. При вдвигании поршня объем воздуха в цилиндре уменьшается. При этом резиновая пленка выгибается наружу, указывая на то, что давление воздуха в цилиндре увеличилось (рис. 89, б).

Наоборот, при увеличении объема этой же массы газа число молекул в каждом кубическом сантиметре, а значит, и число их ударов о стенки сосуда станет меньше. При этом давление газа тоже уменьшится.

На опыте это проявляется следующим образом. При вытягивании поршня из цилиндра резиновая пленка прогибается внутрь сосуда, указывая, что давление воздуха внутри цилиндра стало меньше, чем снаружи (рис. 89, в).

Итак, если масса и температура газа остаются неизменными, то при уменьшении объема газа его давление увеличивается, а при увеличении объема давление уменьшается.

Изменение давления газа при изменении его объема учитывают, например, в таком устройстве, как *резиновая груша* (рис. 90). Этот прибор состоит из двух резиновых шаров с клапанами и резиновой трубки, которую обычно присоединяют к пульверизатору (устройству, предназначенному для распыления жидкостей). Когда шар 1 сдавливают рукой, один (впускной) клапан

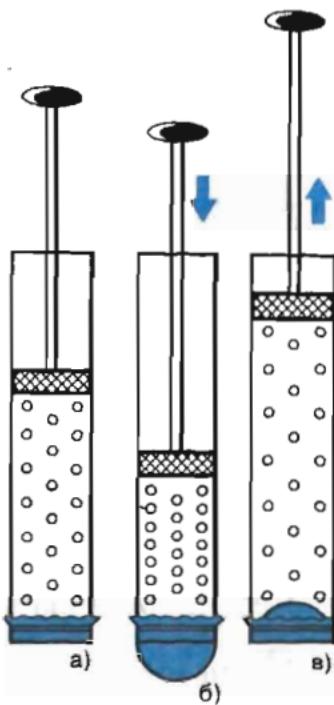


Рис. 89

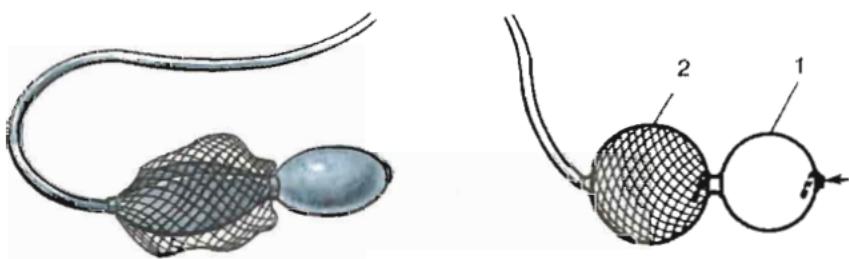


Рис. 90

закрывается, и воздух из шара 1 накачивается в шар 2. При освобождении шара 1 от надавливания он благодаря упругости своих стенок принимает первоначальную форму. При этом давление внутри его уменьшается, и очередная порция наружного воздуха, открывая выпускной клапан, вновь входит внутрь шара 1. Воздух в шаре 2 в это время закрывает другой клапан и по трубке направляется в пульверизатор.

?? 1. Из-за чего возникает давление газа? 2. С помощью какого опыта можно показать, что газ производит давление на стекки сосуда, в котором он находится? 3. Как изменяется давление газа при его сжатии? Почему? 4. Опишите принцип действия резиновой груши.

△ **Экспериментальное задание.** Надуйте воздушный шарик. О каких свойствах газа и оболочки шарика свидетельствует его форма? Почему, направляя струю воздуха в определенном направлении, мы заставляем шарик раздуваться сразу по всем направлениям? Почему не все воздушные шарики принимают сферическую форму?

§ 35. Применение сжатого воздуха

Сжатый воздух может занимать значительно меньше места, чем при обычных условиях. Поэтому при хранении и перевозке воздух сжимают. При этом давление воздуха повышается, и поэтому приходится использовать специальные, достаточно прочные стальные баллоны (рис. 91). В таких баллонах, например, содержат сжатый воздух в подводных лодках, а также кислород, используемый при сварке металлов.

На применении сжатого воздуха основано действие различных **пневматических устройств** (от латинского слова «пневматикос» — воздушный). К ним относятся, например, отбойный молоток и пневматический тормоз.

Устройство **отбойного молотка** показано на рисунке 92. По шлангу 1 подается сжатый воздух. Устройство 2, называемое золотником, направляет его поочередно то в верхнюю, то в нижнюю часть цилиндра. Под действием этого воздуха боек 3 начинает быстро перемещаться то в одну, то в другую сторону, периодически (с частотой 1000—1500 ударов в минуту) воздействуя на пинку 4. Удары последней используются для разрыхления мерзлых грунтов, откалывания от массива кусков горных пород, угля и т. д.

На рисунке 93 показано устройство **пневматического тормоза** железнодорожного вагона. Магистраль 1, тормозной цилиндр 4 и резервуар 3 заполняют сжатым воздухом. При открывании

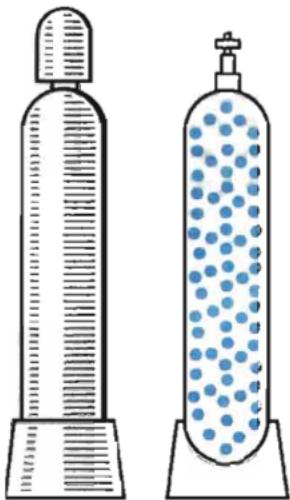


Рис. 91

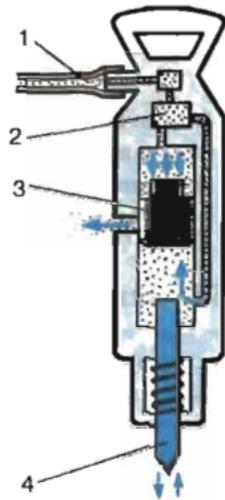


Рис. 92

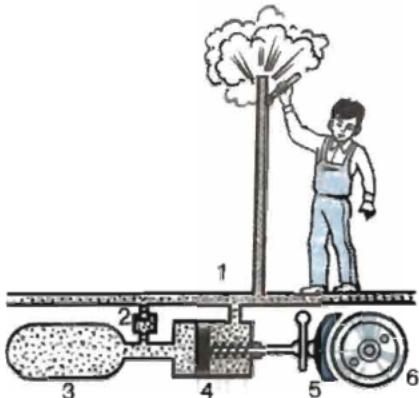


Рис. 93

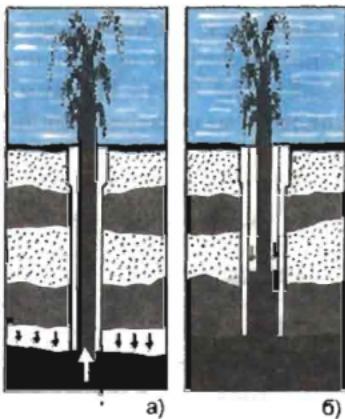


Рис. 94

стоп-крана сжатый воздух выходит из магистральной трубы, и давление в правой части тормозного цилиндра становится меньше, чем в левой (из которой сжатый воздух благодаря клапану 2 выйти не может). В результате этого поршень тормозного цилиндра перемещается вправо и прижимает тормозную колодку 5 к ободу колеса 6, которое при этом затормаживается.

Давление сжатого воздуха используется и при добывче нефти. На рисунке 94 показаны два способа ее добывчи: а — нефть фонтанирует под давлением подземных газов и вод; б — нефть идет

из скважины под давлением сжатого воздуха, накачиваемого в нефтеносный пласт.

- ??? 1. Почему сжатые газы содержат в специальных стальных баллонах? 2. Как действует отбойный молоток? 3. Опишите принцип действия пневматического тормоза. 4. Расскажите о способах добычи нефти из скважины.

§ 36. Закон Паскаля

Положив стопку книг на поверхность стола, стоящего в углу комнаты, вы увеличите лишь его давление на пол; стены, с которыми соприкасается стол, этого «не заметят». Если же вы с помощью поршня окажете давление на жидкость или газ, то результат будет иным.

Проделаем опыт. Присоединим к трубке с поршнем полый шар с множеством маленьких отверстий. Наполнив шар водой, нажмем на поршень, чтобы увеличить в ней давление. Вода начнет выливатьсяся, но не только через то отверстие, которое находится на линии действия прилагаемой нами силы, а и через все остальные тоже (рис. 95). Причем напор воды, обусловленный внешним давлением, во всех появившихся струйках воды будет одним и тем же.

Аналогичный результат мы получим и в том случае, если вместо воды будем использовать дым (рис. 96).



Рис. 95

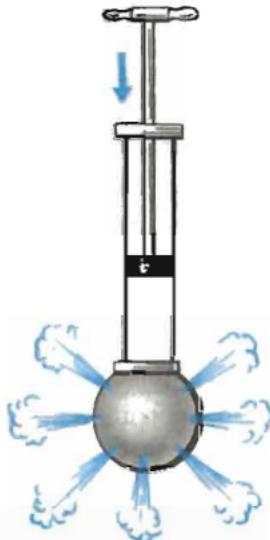


Рис. 96

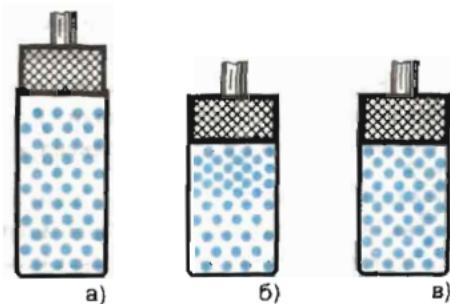


Рис. 97

Эти и другие опыты свидетельствуют о том, что

жидкости и газы передают оказываемое на них давление по всем направлениям одинаково.

Этот закон был открыт в 1653 г. французским ученым Б. Паскалем и потому носит его имя — **закон Паскаля**.

Передача давления жидкостями и газами обусловлена достаточно высокой подвижностью частиц, из которых они состоят. Рисунок 97 иллюстрирует сказанное. Точками на нем изображены молекулы газа, находящегося в сосуде под поршнем. На рисунке 97, а эти молекулы равномерно заполняют весь предоставленный объем. При опускании поршня газ, находящийся непосредственно под ним, сжимается, и частицы газа в этом месте начинают располагаться более плотно, чем внизу (рис. 97, б). Однако через некоторое время эти частицы, беспорядочно двигаясь, перемешаются с другими, и их расположение вновь станет равномерным, но более плотным, чем до опускания поршня (рис. 97, в). При этом в равной степени возрастет число ударов молекул не только о дно сосуда, но и о его боковые стенки. Это и означает, что давление поршня передается газом по всем направлениям одинаково и в каждой точке оно возрастает на одну и ту же величину.



- ???
1. Сформулируйте закон Паскаля.
 2. Опишите опыты, в которых прояв-

Паскаль Блез
(1623—1662)

ляется этот закон. 3. При изготовлении бутылок через трубку вдувают воздух, и расплавленное стекло принимает форму бутылки (см. рис. 78). Какое свойство газов здесь используется? 4. Из винтовки, применяемой в тире, стреляют в банку. Что будет с банкой, если она: а) пустая; б) наполнена водой? Почему?



Экспериментальные задания. 1. Надуйте немного воздуха в воздушный шарик и завяжите его. Сожмите шарик в каком-либо месте. Что произойдет с остальной частью шарика? Почему? 2. Проколите целлофановый пакет иглой, после чего наполните пакет водой. Продемонстрируйте явления, в которых проявлялся закон Паскаля.

§ 37. Гидростатическое давление

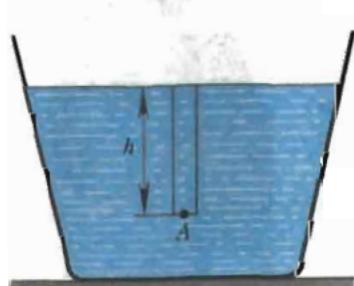
Жидкости и газы передают по всем направлениям не только оказываемое на них внешнее давление, но и то давление, которое существует внутри их благодаря весу собственных частей. Верхние слои жидкости давят на средние, те — на нижние, а последние — на дно.

Давление, оказываемое покоящейся жидкостью, называется **гидростатическим**.

Получим формулу для расчета гидростатического давления жидкости на произвольной глубине h (в окрестности точки A на рисунке 98). Сила давления, действующая в этом месте со стороны вышележащего узкого вертикального столба жидкости, может быть выражена двумя способами:

во-первых, как произведение давления в основании этого столба на площадь его сечения:

$$F = pS;$$



во-вторых, как вес того же столба жидкости, т. е. произведение массы жидкости (которая может быть найдена по формуле $m = \rho V$, где объем $V = Sh$) на ускорение свободного падения g :

$$F = mg = \rho Shg.$$

Приравняем оба выражения для силы давления:

$$\rho S = \rho Shg.$$

Рис. 98

Разделив обе части этого равенства на площадь S , найдем давление жидкости на глубине h :

$$p = \rho gh. \quad (37.1)$$

Мы получили формулу гидростатического давления. Гидростатическое давление на любой глубине внутри жидкости не зависит от формы сосуда, в котором находится жидкость, и равно произведению плотности жидкости, ускорения свободного падения и глубины, на которой рассматривается давление.

Одно и то же количество воды, находясь в разных сосудах, может оказывать разное давление на дно. Поскольку это давление зависит от высоты столба жидкости, то в узких сосудах оно будет больше, чем в широких. Благодаря этому даже небольшим количеством воды можно создать очень большое давление. В 1648 г. это очень убедительно продемонстрировал Б. Паскаль. Он вставил в закрытую бочку, наполненную водой, узкую трубку и, поднявшись на балкон второго этажа дома, вылил в эту трубку кружку воды. Из-за малой толщины трубки вода в ней поднялась до большой высоты, и давление в бочке увеличилось настолько, что крепления бочки не выдержали, и она треснула (рис. 99).

Полученные нами результаты справедливы не только для жидкостей, но и для газов. Их слои также давят друг на друга, и потому в них тоже существует гидростатическое давление.

???

1. Какое давление называют гидростатическим? 2. От каких величин зависит это давление? 3. Выведите формулу гидростатиче-

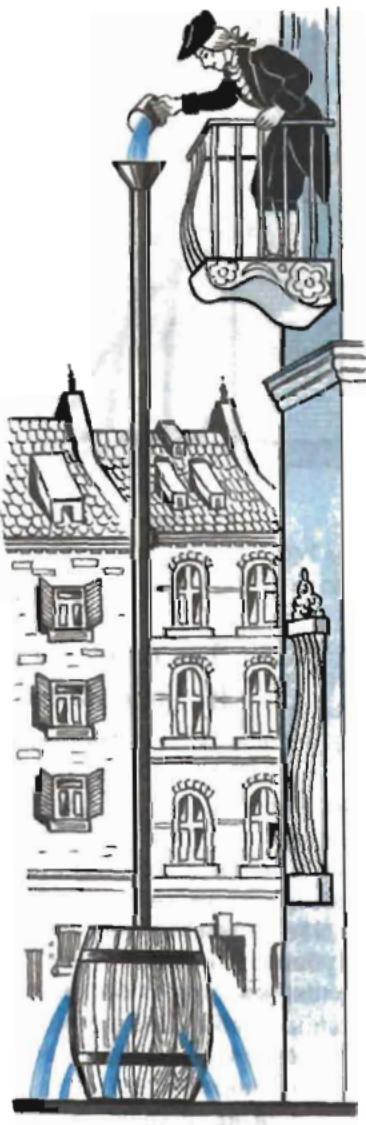


Рис. 99

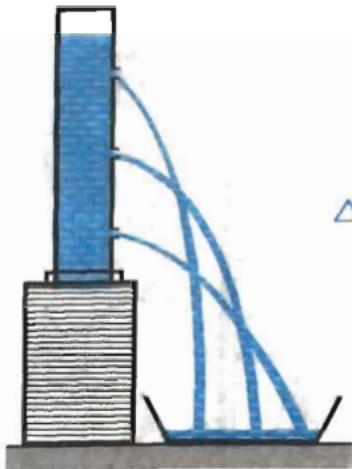


Рис. 100

ского давления на произвольной глубине. 4. Каким образом с помощью небольшого количества воды можно создать большое давление? Расскажите об опыте Паскаля.

△ **Экспериментальное задание.** Возьмите высокий сосуд и сделайте в его стенке три небольших отверстия на разной высоте. Закройте отверстия пластилином и наполните сосуд водой. Откройте отверстия и проследите за струями вытекающей воды (рис. 100). Почему вода вытекает из отверстий? Из чего следует, что давление воды увеличивается с глубиной?

§ 38. Давление на дне морей и океанов. Исследование морских глубин

Из формулы гидростатического давления следует, что во всех местах жидкости, находящихся на одной и той же глубине, давление жидкости одно и то же. С увеличением глубины оно возрастает. Особенно больших значений оно достигает на дне морей и океанов. Например, на глубине 10 км давление воды составляет около 100 миллионов паскалей!

Несмотря на огромное давление, существующее на таких глубинах, и здесь обитают некоторые животные: различные иглокожие, ракообразные, моллюски, черви, а также глубоководные рыбы. Организм этих животных приспособлен к существованию в условиях большого давления, и точно такое же давление имеется внутри их.

Сюда не доходит солнечный свет (он угасает уже на глубине 180 м), и потому здесь царствует мрак. Обитатели глубин либо слепые, либо, наоборот, имеют очень развитые глаза. Некоторые из глубоководных животных светятся собственным светом.

Человек начал осваивать подводный мир еще в глубокой древности. Опытные, хорошо тренированные ныряльщики (ловцы жемчуга, собиратели губок), задерживая дыхание на 1—2 мин, погружались без всяких приспособлений на глубину 20—30 (а иногда и более) метров.

Опускаться на очень большие глубины человек без специального снаряжения не может. Этому мешает как отсутствие воздуха, так и огромное гидростатическое давление, прогибающее ребра грудной клетки настолько, что они могут не выдержать и сломаться.

Для увеличения времени пребывания под водой люди вначале использовали дыхательные трубки из тростника, кожаные мешки с запасом воздуха, а также «водолазный колокол» (в верхней части которого при погружении в воду образовывалась «воздушная подушка», из которой человек и получал воздух).

Следует иметь в виду, однако, что дышать через трубку, выступающую над поверхностью воды, можно лишь тогда, когда глубина погружения не превышает 1,5 м.

На больших глубинах разность между давлением воды, сжимающим грудную клетку, и давлением воздуха внутри ее возрастает настолько, что у человека уже не хватает сил увеличивать объем грудной клетки при вдохе и наполнять свежим воздухом легкие.

На глубине, превышающей 1,5 м, можно дышать только таким воздухом, который сжат до давления, равного давлению воды на данной глубине.

В 1943 г. французами Ж. Кусто и Э. Ганьяном был изобретен **акваланг** — специальный аппарат со сжатым воздухом, предназначенный для дыхания человека под водой (рис. 101). Благодаря этому изобретению плавание под водой стало увлекательным и распространенным видом спорта.

Акваланг позволяет находиться под водой от нескольких минут (на глубине около 40 м) до часа и более (на небольших глубинах). Спуски с аквалангом на глубины более 40 м не рекомендуются, так как вдыхание воздуха, сжатого до большого давления, может привести к азотному наркозу. У человека нарушается координация движений, мутится сознание.

При подводных работах на разных глубинах используют специальные водолазные скафандры. Если скафандр мягкий (резиновый), то глубина погружения обычно не превосходит нескольких десятков метров.

На больших глубинах человек может работать только в

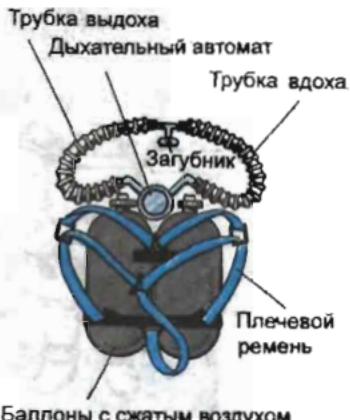


Рис. 101

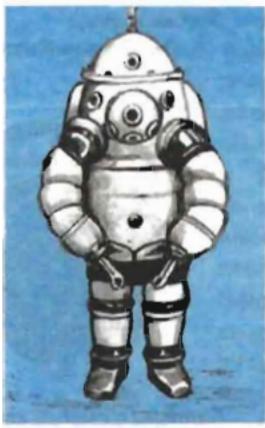


Рис. 102

жестком («панцирном») скафандре (рис. 102). В последнем случае глубина погружения может доходить до 300 м.

Для исследования морей и океанов на больших глубинах используют батисферы и батискафы (рис. 103).

Батисферу опускают с надводного судна с помощью троса. Впервые она была использована итальянцем Бальзамелло в 1892 г.

Глубина погружения тогда составляла 165 м; впоследствии она превысила 1 км.

Батискаф не связан тросом с кораблем и представляет собой автономный (самоходный) аппарат (рис. 104). Первый батискаф был построен и испытан швейцарским ученым О. Пиккаром в 1948 г. В январе 1960 г. сын ученого Ж. Пиккар вместе с Д. Уолшем достигли на батискафе дна Марианского желоба в Тихом океане. Его максимальная глубина (измеренная в 1957 г. советским исследовательским судном «Витязь») составляет 11 022 м.



Рис. 103

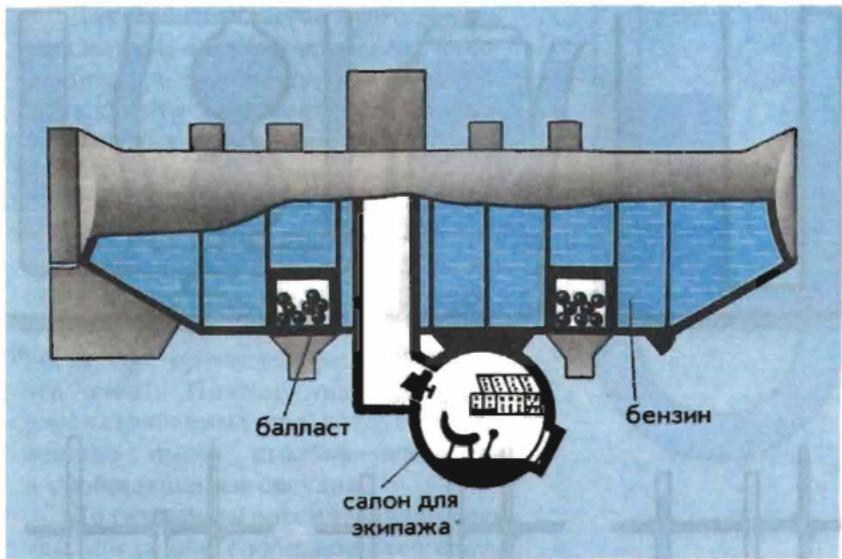


Рис. 104

- ???
1. Каким образом человек может дышать, находясь под водой?
 2. Что препятствует погружению людей без специальных приспособлений на большие глубины? 3. Что такое акваланг? Почему в нем используется не обычный, а сжатый воздух? 4. Чем отличается батискаф от батисферы?

§ 39. Сообщающиеся сосуды

На рисунке 105 изображено несколько сосудов. Все они имеют разную форму, но одна особенность делает их похожими друг на друга. Какая именно? Приглядевшись, можно заметить, что отдельные части всех этих сосудов имеют соединение, заполненное жидкостью.

Сосуды, имеющие общую (соединяющую их) часть, заполненную покоящейся жидкостью, называются **сообщающимися**.

Проделаем опыт. Соединим два стеклянных сосуда резиновой трубкой и, зажав трубку в середине, нальём в один из сосудов воду (рис. 106, а). Теперь откроем зажим и проследим за перетеканием воды из одного сосуда в другой, сообщающийся с первым. Мы увидим, что вода будет перетекать до тех пор, пока поверхности воды в обоих сосудах не установятся на одном уровне (рис. 106, б).

Если один из сосудов оставить закреплённым в штативе, а другой

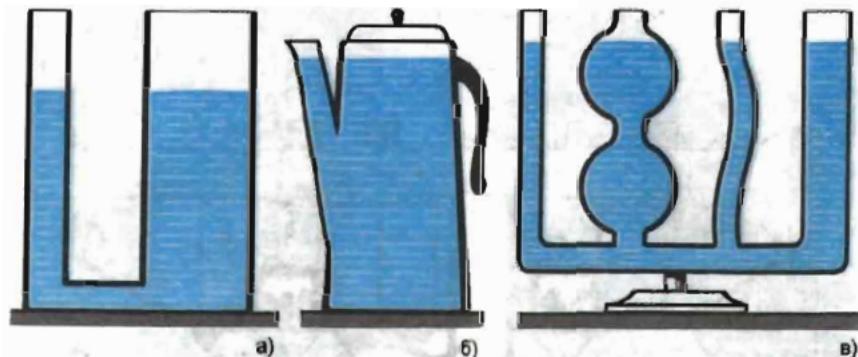


Рис. 105

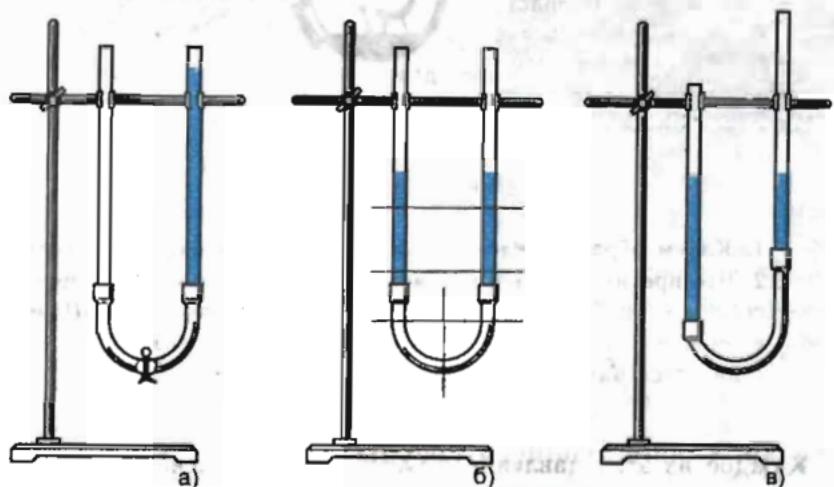


Рис. 106

поднимать, опускать или наклонять в сторону, то все равно, как только движение воды прекратится, ее уровни в обоих сосудах окажутся одинаковыми (рис. 106, в).

Закон сообщающихся сосудов гласит:

В сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне¹.

¹ Сосуды, о которых говорится в этом законе, не должны иметь слишком малые диаметры, иначе будут наблюдаться капиллярные эффекты (см. § 29).

Для доказательства этого закона рассмотрим частицы жидкости, находящиеся в том месте, где соединяются сосуды (внизу на рисунке 105, а). Так как эти частицы (вместе со всей остальной жидкостью) покоятся, то силы давления, действующие на них слева и справа, должны уравновешивать друг друга. Но эти силы пропорциональны давлениям, а давления — высотам столбов жидкости, со стороны которых действуют эти силы. Поэтому из равенства рассматриваемых сил следует и равенство высот столбов жидкости в сообщающихся сосудах.

До сих пор мы рассматривали случай, когда оба сообщающихся сосуда содержали одну и ту же жидкость. Если же в один из этих сосудов налить одну жидкость (например, воду с плотностью ρ_1), а в другой — другую жидкость (например, керосин с плотностью ρ_2), то уровни этих жидкостей окажутся разными (рис. 107). Однако поскольку жидкости и в данном случае будут покойться, то по-прежнему можно утверждать, что давления, создаваемые правым и левым столбами жидкостей (например, на уровне АВ на рисунке), равны:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2.$$

Каждое из этих давлений может быть выражено с помощью формулы гидростатического давления:

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2,$$

Приравнивая эти выражения, получаем

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2,$$

откуда

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2.$$

(39.1)

Из этого равенства следует, что если $\rho_1 > \rho_2$, то $h_1 < h_2$. Это означает, что в сообщающихся сосудах, содержащих разные жидкости, высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью. При этом

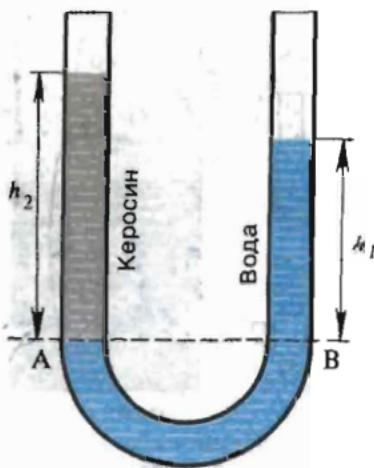


Рис. 107

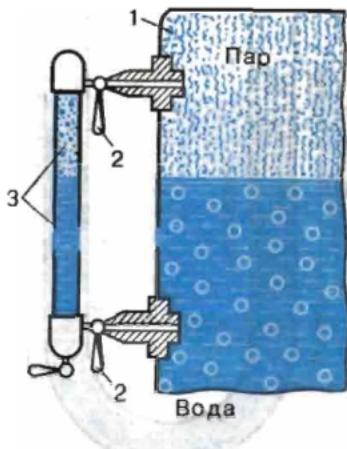


Рис. 108

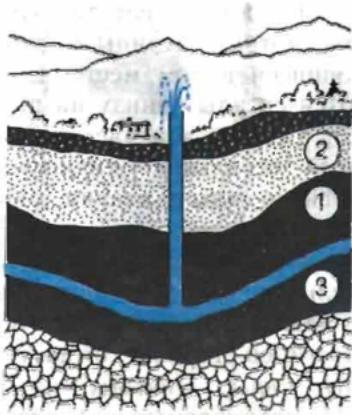


Рис. 109

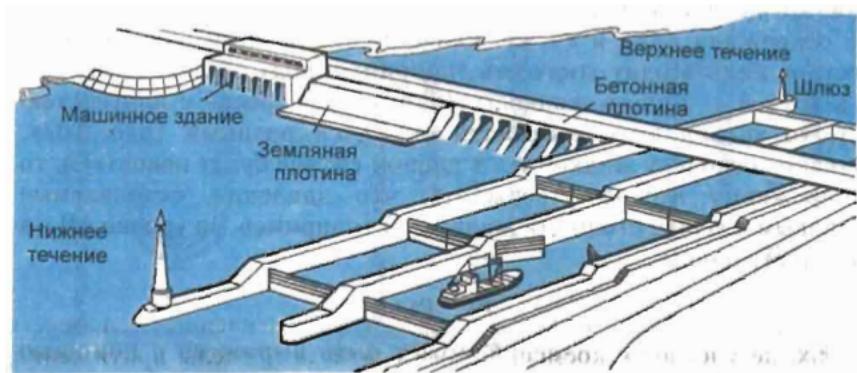


Рис. 110

высоты столбов жидкостей отсчитываются от поверхности соприкосновения жидкостей друг с другом.

- ???
1. Приведите примеры сообщающихся сосудов.
 2. Сформулируйте закон сообщающихся сосудов.
 3. Как располагаются поверхности разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах?
 4. Докажите закон сообщающихся сосудов, используя формулу (39.1).
 5. На рисунке 108 изображено водомерное стекло, применяемое в паровых котлах (1 — паровой котел, 2 — краны, 3 — водомерное стекло). Объясните действие этого прибора.
 6. На рисунке 109 изображен артезианский колодец. Слой земли 2 состоит из песка или другого материала, легко пропускающего воду. Слон

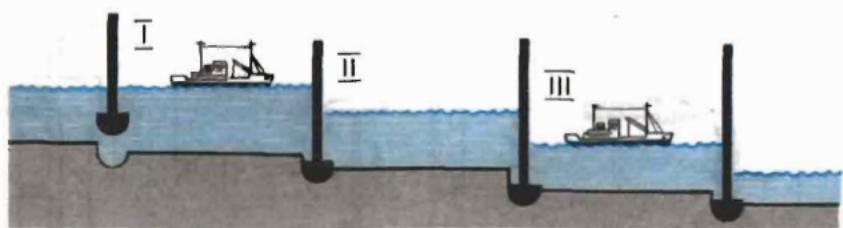


Рис. 111

I и III, наоборот, водонепроницаемы. Объясните действие этого колодца. Почему вода бьет из него фонтаном? 7. На рисунке 110 дана схема устройства шлюза, а на рисунке 111 — схема шлюзования судов. Рассмотрите рисунки и объясните принцип действия шлюзов.

§ 40. Атмосфера и атмосферное давление

Газовая оболочка, окружающая Землю, называется **атмосферой** (от греческих слов «атмос» — пар и «сфера» — шар). Смесь газов, образующих атмосферу Земли, называют **воздухом**. В состав воздуха входят азот (78 %), кислород (21 %) и некоторые другие газы.

Молекулы газов, образующих атмосферу нашей планеты, находятся в непрерывном и беспорядочном движении. Почему же они не улетают в космическое пространство? Дело в том, что у них недостаточно большая скорость. Ведь и мяч, брошенный человеком вверх, не улетает в космос. Чтобы выйти за пределы притяжения Земли, необходимо развить очень большую скорость — 11,2 км/с. Скорость большинства молекул в воздухе значительно меньше.

Исследование околоземного пространства с помощью искусственных спутников Земли показало, что атмосфера нашей планеты простирается на тысячу и более километров в высоту. Резкой границы она не имеет. Ее верхние слои очень разрежены и постепенно переходят в пустое межпланетное пространство. С уменьшением высоты плотность воздуха возрастает. Около 80 % всей массы воздушной оболочки Земли сосредоточено в пределах 15 км над Землей.

Установлено, что при температуре 0 °С масса каждого кубического метра воздуха (на уровне моря) составляет в среднем 1,29 кг.

Как на опыте доказать, что воздух обладает массой? Для этого следует взять прочный стеклянный шар с пробкой и резиновой



Рис. 112

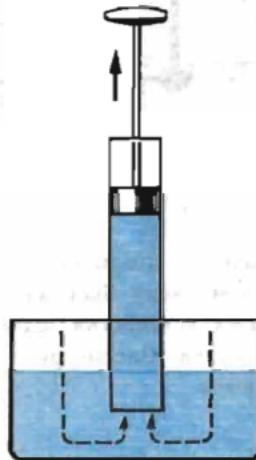


Рис. 113

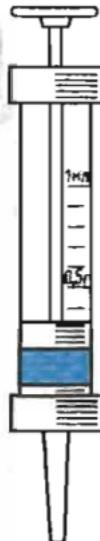


Рис. 114

трубкой, имеющей зажим (рис. 112). Выкачав из шара воздух и закрыв зажим, поместим шар на весы и уравновесим их с помощью гирь. Теперь откроем зажим на резиновой трубке. Воздух снова войдет внутрь шара, и мы увидим, как равновесие весов нарушится. Шар с воздухом станет тяжелее. Это и означает, что воздух обладает массой.

Из-за притяжения к Земле верхние слои воздуха давят на средние, те — на нижние. Наибольшее давление, обусловленное весом воздуха, испытывает поверхность Земли, а также все тела, находящиеся на ней. На них давит вся толща воздуха.

Давление, оказываемое атмосферой Земли на все находящиеся в ней предметы, называется **атмосферным давлением**.

Существованием атмосферного давления могут быть объяснены многие явления. Рассмотрим два примера.

На рисунке 113 изображены широкий сосуд с водой и опущенная в него стеклянная трубка с поршнем. Поднимая поршень, мы увидим, как вода начинает следовать за ним. Что заставляет подниматься воду? Если бы уровень воды при поднятии поршня не изменялся, то между ним и водой образовалось бы безвоздушное пространство, которое, естественно, не оказывало бы никакого давления на находящуюся под ним воду. Снизу же на эту воду (в трубке) действует сила давления окружающего воздуха. Это давление передается по закону Паскаля через воду в широком сосуде. Действуя снизу вверх, сила атмосферного давления

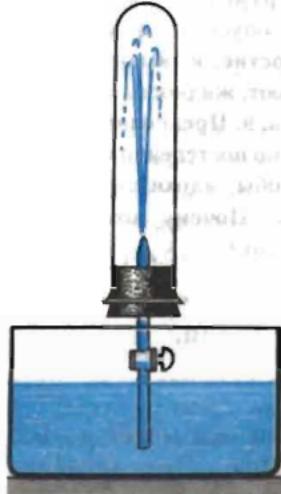


Рис. 115



Рис. 116



и заставляет воду в трубке устремляться в пустое пространство под поршнем. Именно на этом основан принцип действия такого широко известного инструмента, как шприц (рис. 114).

На рисунке 115 показано, что будет происходить, если в широкий сосуд с водой опустить трубку, из которой был откачен воздух. После открытия крана вода фонтаном начинает бить вверх. Причина этого — разность давлений снаружи и внутри трубки. Преобладающая сила давления окружающего воздуха заставляет воду из широкого сосуда перемещаться туда, где давление намного меньше, т. е. внутрь пустой трубки.

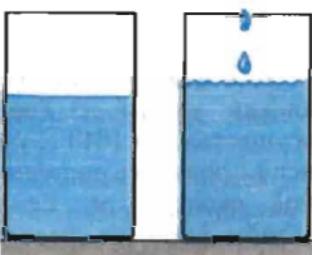


Рис. 117

- ???** 1. Что представляет собой атмосфера Земли? Из каких газов она состоит? 2. Почему молекулы газов, образующих атмосферу Земли, не улетают в космическое пространство? 3. Как изменяется плотность атмосферы с увеличением высоты? 4. С помощью какого опыта можно доказать, что воздух обладает массой? 5. Вследствие чего создается атмосферное давление? 6. Объясните принцип действия шприца. 7. На рисунке 116 изображена пипетка.

Объясните, каким образом удается набирать в нее жидкость. 8. На рисунке 117 изображен ливер — инструмент, служащий для взятия проб различных жидкостей. Ливер опускают в жидкость, затем закрывают пальцем верхнее отверстие и вынимают из жидкости. Когда верхнее отверстие открывают, жидкость из ливера вытекает. Объясните действие этого прибора. 9. Предполагают, что Луна когда-то была окружена атмосферой, но постепенно потеряла ее. Чем это можно объяснить? 10. Чтобы вдохнуть воздух, человек расширяет свою грудную клетку. Почему воздух при этом входит в легкие? Как происходит выдох?

§ 41. Измерение атмосферного давления.

Опыт Торричелли

Мы знаем, что воздушная оболочка Земли оказывает на все находящиеся в ней тела некоторое давление. Это давление называется атмосферным. Насколько оно велико?

Формула давления $p = \rho gh$ для расчета атмосферного давления не подходит, так как атмосферный воздух не обладает постоянной плотностью (она на различных высотах разная) и не имеет определенной высоты (у атмосферы нет резкой границы). Тем не менее узнать, чему равно атмосферное давление, можно.

Как измерить давление атмосферы, впервые догадался итальянский ученый Э. Торричелли. Предложенный им опыт был осуществлен в 1643 г. учеником Галилея В. Вивиани. В этом опыте использовалась запаянная с одного конца стеклянная трубка длиной около 1 м. Ее наполнили ртутью и, закрыв пальцем (чтобы ртуть не вылилась раньше времени), перевернув, опустили в широкую чашу со ртутью.

После того как трубку открыли, часть ртути из нее вылилась и в ее верхней части образовалось безвоздушное пространство — «торричеллиева пустота» (рис. 118). При этом высота столба ртути в трубке оказалась равной примерно 760 мм (если отсчитывать ее от уровня ртути в чаше).

Результаты этого опыта Торричелли объяснил следующим образом. «До сих пор, — писал он, — существовало мнение, будто сила, не позволяющая ртутi, вопреки ее природному свойству, падать вниз, находится внутри верхней части труб-



Торричелли Эванджелиста
(1608—1647)

ки, т. е. заключается либо в пустоте, либо в веществе предельно разреженном. Однако я утверждаю, что это сила — внешняя — и что сила берется извне. На поверхность жидкости, находящейся в чаше, действуют своей тяжестью 50 миль воздуха. Что же удивительного, если ртуть... поднимается настолько, чтобы уравновесить тяжесть наружного воздуха».

Итак, атмосферное давление равно давлению столба в трубке:

$$p_{\text{атм}} = p_{\text{ртутн}}$$

Если бы эти давления не были равны, то ртуть не находилась бы в равновесии: при $p_{\text{ртутн}} > p_{\text{атм}}$ ртуть выливалась бы из трубки в чашу, а при $p_{\text{ртутн}} < p_{\text{атм}}$ ртуть поднималась бы по трубке вверх.

Поэтому давление атмосферы можно измерять высотой соответствующего ртутного столба (выраженной обычно в миллиметрах). Если, например, говорят, что в каком-то месте атмосферное давление равно 760 мм рт. ст., то это означает, что воздух в данном месте производит такое же давление, какое производит вертикальный столб ртути высотой 760 мм. Большая высота ртутного столба соответствует и большему атмосферному давлению, меньшая — меньшему.

Если прикрепить к трубке с ртутью, использовавшейся в опыте Торричелли, вертикальную шкалу, то получится простейший прибор для измерения атмосферного давления — **ртутный барометр** (от греческого слова «барос» — тяжесть).

Наблюдая за высотой ртутного столба в трубке, Торричелли неожиданно для себя заметил, что атмосферное давление непостоянно и в зависимости «от теплоты или холода» (как писал он сам) высота столба ртути оказывается разной.

В настоящее время давление атмосферы, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °C, принято называть **нормальным атмосферным давлением**.

Чтобы рассчитать это давление в паскалях, воспользуемся формулой гидростатического давления:

$$p = \rho gh.$$

Подставляя в эту формулу значения $\rho = 13595,1 \text{ кг}/\text{м}^3$ (плотность ртути при 0 °C), $g = 9,80665 \text{ м}/\text{с}^2$ (ускорение свободного падения) и $h = 760 \text{ мм} = 0,76 \text{ м}$ (высота столба ртути,

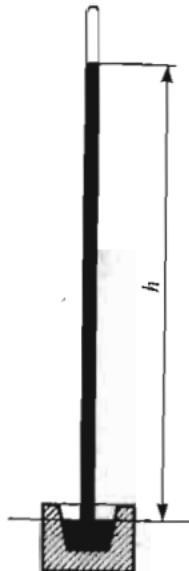


Рис. 118

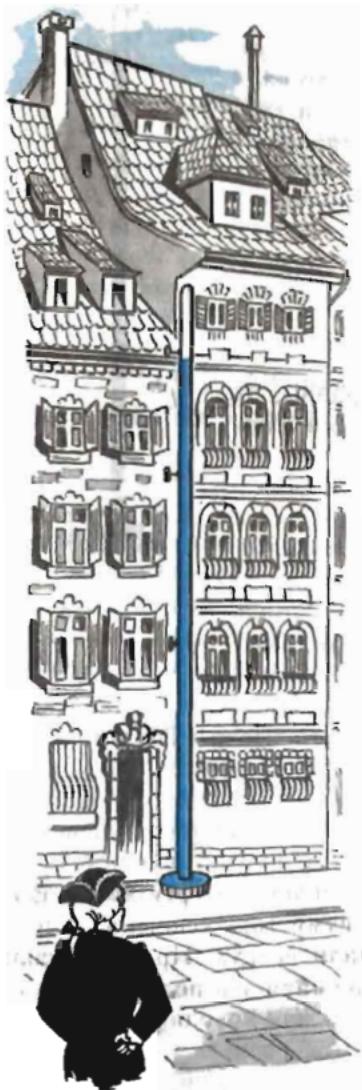


Рис. 119

соответствующая нормальному атмосферному давлению), получим следующую величину:

$$p = 101\,325 \text{ Па.}$$

Это и есть *нормальное атмосферное давление*.

Атмосферное давление, близкое кциальному, наблюдается обычно в местностях, находящихся на уровне моря. С увеличением высоты над уровнем моря (например, в горах) давление уменьшается.

Опыты Торричелли заинтересовали многих ученых — его современников. Когда о них узнал Паскаль, он повторил их с разными жидкостями (маслом, вином и водой). На рисунке 119 изображен *водяной барометр*, созданный Паскалем в 1646 г. Столб воды, уравновешивающий давление атмосферы, оказался намного выше столба ртути.

В 1648 г. по поручению Паскаля Ф. Перье измерил высоту столба ртути в барометре у подножия и на вершине горы Пюи-де-Дом и полностью подтвердил предположение Паскаля о том, что атмосферное давление зависит от высоты: на вершине горы столб ртути оказался меньше на 84,4 мм. Для того чтобы не осталось никаких сомнений в том, что давление атмосферы понижается с увеличением высоты над Землей, Паскаль проделал еще несколько опытов, но уже в Париже: внизу и наверху собора Нотр-Дам, башни Сен-Жак,

а также высокого дома с 90 ступеньками. Свои результаты он опубликовал в брошюре «Рассказ о великом эксперименте равновесия жидкостей».

Большую известность получили также опыты немецкого физика Отто фон Герике (1602—1686). К выводу о существовании атмосферного давления он пришел независимо от Торричелли (об



Рис. 120

опытах которого он узнал с опозданием на девять лет). Откачивая как-то воздух из тонкостенного металлического шара, Герике вдруг увидел, как этот шар сплющился. Размысливая над причиной аварии, он понял, что расплющивание шара произошло под действием давления окружающего воздуха.

Открыв атмосферное давление, Герике построил около фасада своего дома в г. Магдебурге водяной барометр, в котором на поверхности жидкости плавала фигурка в виде человечка, указывающего на деления, нанесенные на стекле.

В 1654 г. Герике, желая убедить всех в существовании атмосферного давления, произвел знаменитый опыт с «магдебургскими полушариями». На демонстрации опыта присутствовали император Фердинанд III и члены Регенсбургского рейхстага. В их присутствии из полости между двумя сложенными вместе металлическими полушариями выкачивали воздух. При этом силы атмосферного давления так сильно прижали эти полушария друг к другу, что их не смогли разъединить несколько пар лошадей (рис. 120).

- ???
1. Почему давление атмосферы нельзя рассчитать так же, как рассчитывают давление жидкости на дно сосуда? 2. Расскажите об опыте Торричелли. 3. Что означает запись: «Атмосферное давление равно 780 мм рт. ст.»? 4. Как называют прибор для измерения атмосферного давления? 5. Какое давление называют нормальным атмосферным давлением? Чему оно равно? 6. Как изменяется атмосферное давление при увеличении высоты над Землей? Почему?



Экспериментальные задания. 1. Погрузите стакан в воду, переверните его под водой вверх дном и затем медленно вытаскивайте из воды. Почему, пока края стакана находятся под водой, вода остается в стакане (не выливается)? 2. Наполните стакан водой, закройте листом бумаги и, поддерживая лист рукой, быстро переверните стакан вверх дном. Если теперь отнять руку от бумаги, то вода из стакана не выльется. Бумага останется как бы приклеенной к краям стакана. Почему?

§ 42. Барометр-анероид

До середины XIX в. для измерения атмосферного давления применяли лишь жидкостные (главным образом, ртутные) барометры, изобретенные Э. Торричелли. В 1844 г. Л. Види сконструировал новый, безжидкостный барометр, получивший название **барометр-анероид** (от греческого слова «анерос» — безжидкостный).

Устройство барометра-анероида показано на рисунке 121. Его основной частью является круглая металлическая коробка 1 с волнистыми (гофрированными) основаниями. путем откачивания воздуха внутри этой коробки создано сильное разрежение. При повышении атмосферного давления коробка сжимается, и ее верхняя (прогибающаяся) поверхность начинает тянуть прикрепленную к ней пружину 2. При уменьшении давления пружина разгибается, и верхнее основание коробки приподнимается. К пружине с помощью передаточного механизма 3 прикреплена стрелка-указатель 4. Эта стрелка перемещается по шкале 5. Градуировку шкалы анероида осуществляют и выверяют по показаниям ртутного барометра.

Барометры-анероиды менее надежны, чем ртутные, так как содержащиеся в них пружины и мембранны со временем изменяют свою упругость. Однако вследствие своей портативности и отсут-

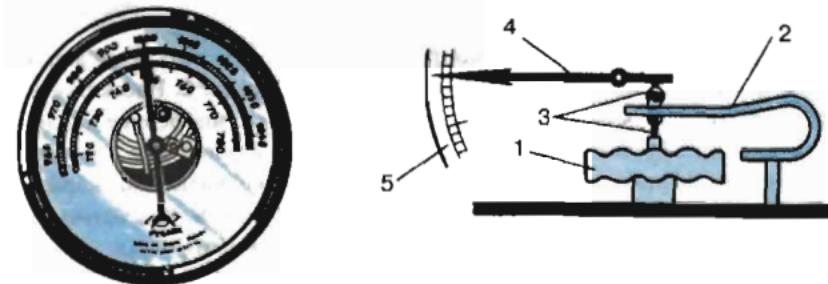


Рис. 121

ствия жидкости они более удобны в обращении и потому широко используются на практике.

Барометры являются необходимыми приборами в метеорологических исследованиях, так как знание атмосферного давления важно для предсказания погоды на ближайшие дни.

Чувствительность анероидов настолько высока, что даже при поднятии барометра на 2—3 м стрелка-указатель прибора заметно перемещается. Это позволяет обнаружить постепенное изменение атмосферного давления даже при перемещении по лестнице дома или на эскалаторе в метро.

С увеличением высоты над землей давление воздуха уменьшается. Поднимаясь с барометром в аэростате, можно измерить давление атмосферы на разных высотах. При небольших подъемах в среднем на каждые 12 м подъема давление уменьшается на 1 мм рт. ст. На высоте 6 км давление воздуха примерно вдвое меньше, чем на поверхности Земли.

Знание зависимости атмосферного давления от высоты позволяет использовать барометры-анероиды в качестве *высотомеров*. Поскольку каждому значению атмосферного давления соответствует своя высота над уровнем моря, то шкалу этих приборов можно сразу проградуировать в метрах (или километрах).

Барометрические высотомеры, используемые в авиации, иначе называют *альтиметрами*. С их помощью летчики определяют высоту полета самолетов.

- ???
1. Какие два вида барометров вы знаете?
 2. Как устроен барометр-анероид?
 3. Как изменяется давление атмосферы при увеличении высоты над Землей? Почему?
 4. Каким образом можно определить высоту полета самолета? Как называется служащий для этого прибор?
 5. Почему воздушный шарик, наполненный водородом, при подъеме над землей увеличивается в объеме?

§ 43. Манометры

Барометры служат для измерения атмосферного давления. Если же требуется определить какое-либо другое давление, оказываемое жидкостью или газом, то применяют приборы, называемые *манометрами* (от греческого слова «манос» — редкий, неплотный).

Существуют разные конструкции манометров. На рисунке 122 показано устройство так называемого *трубчатого манометра*, изобретенного в 1848 г. французским ученым Э. Бурдоном. Его основной частью является согнутая в дугу полая трубка 1. Один из

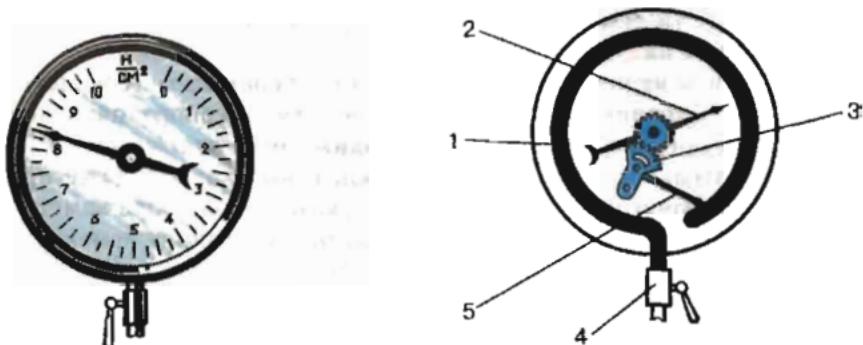


Рис. 122

концов этой трубки запаян, а другой с помощью крана 4 соединяется с сосудом, в котором измеряют давление. При увеличении давления трубы начинает разгибаться и соединенная с ней (посредством рычага 5 и зубчатки 3) стрелка 2 поворачивается, указывая соответствующее давление на шкале. Если же давление уменьшается, то трубка, наоборот, сгибается и стрелка перемещается в обратном направлении.

На рисунке 123 изображен другой манометр — так называемый *жидкостный U-образный манометр*. Он состоит из двухколенной стеклянной трубы (имеющей форму латинской буквы *U*), в которую налита жидкость (например, вода или спирт). С помощью гибкой трубки одно из колен манометра соединяют с круглой плоской коробочкой, затянутой резиновой пленкой.

При равенстве давлений в правом и левом коленах манометра находящаяся в них жидкость устанавливается на одном уровне. Если же на пленку нажать (см. рис. 123), то уровень жидкости в одном колене манометра, соединенном с коробочкой, понизится, а в другом — на столько же повысится. Объясняется это тем, что при надавливании на пленку давление воздуха в коробочке повышается. Это избыточное давление передается жидкости в соответствующем колене, и ее уровень понижается. Понижение уровня в этом колене будет происходить до тех пор, пока избыточная сила давления не уравновесится весом избыточного столба жидкости в другом колене

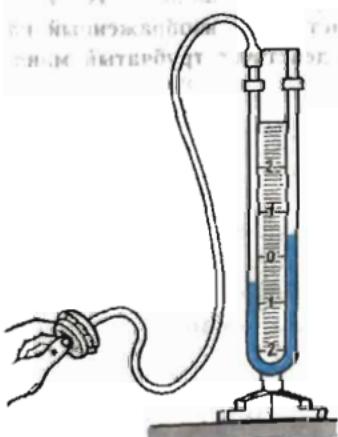


Рис. 123

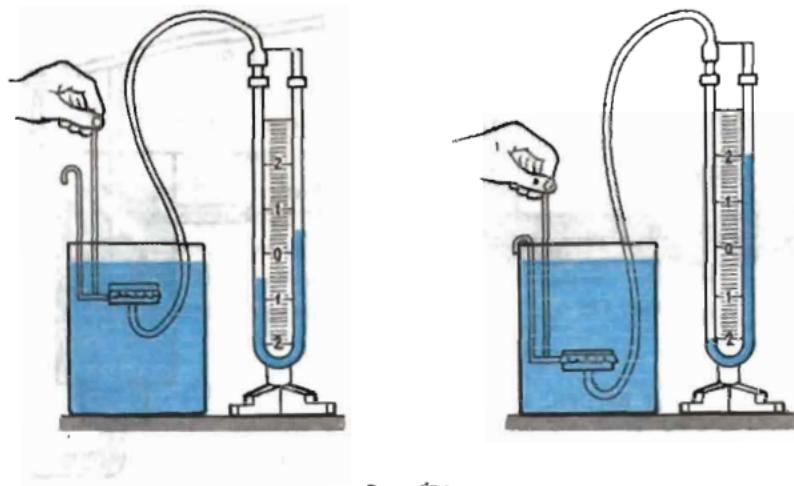


Рис. 124

манометра. Поэтому по разности высот столбов жидкости в манометре можно судить о том, насколько давление на пленку отличается от атмосферного.

На рисунке 124 показано, как с помощью *U*-образного манометра можно измерять давление внутри жидкости. Мы видим, что, чем глубже опущена коробочка манометра, тем больше оказывается разность высот столбов жидкости внутри прибора. Так и должно быть: ведь с увеличением глубины погружения гидростатическое давление жидкости возрастает.

- ???**
1. Как называются приборы для измерения давлений, больших или меньших атмосферного? 2. Как устроен и как действует жидкостный манометр? 3. Что доказывает опыт, изображенный на рисунке 124? 4. Как устроен и как действует трубчатый манометр?

§ 44. Водопровод. Поршневой жидкостный насос

Человечество не может существовать без воды. Вода — основной элемент нашей пищи. Потребителем воды являются промышленность, энергетика, сельское хозяйство и транспорт. На использовании воды основано санитарно-техническое оборудование жилищ (наличие ванн, душей, канализации, системы отопления и др.).

Инженерные сооружения, служащие для снабжения водой населения, а также заводов, фабрик и т. д., называются **водопроводом**.

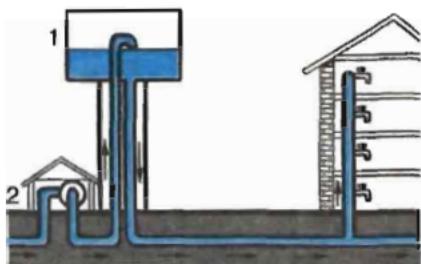


Рис. 125

Воду берут из рек, водохранилищ, озер или из-под земли. Иногда воду приходится доставлять издалека. Например, для Москвы часть воды берут из Волги по каналу длиной 128 км.

Взятая из источника вода, прежде чем попасть к потребителю, проходит через водоочистные сооружения (первые такие сооружения в нашей стране были построены в 1888 г. в Петербурге). Затем с помощью насосных станций очищенная вода подается в водопроводную сеть города, на заводы, животноводческие фермы и т. д.

Схема устройства водопровода показана на рисунке 125. С помощью насоса 2 вода поступает в большой бак с водой, находящийся в водонапорной башне 1. От этой башни вдоль городских улиц на глубине примерно 2,5 м проложены трубы, от которых в каждый отдельный дом идут специальные ответвления, оканчивающиеся кранами. Эти краны не могут располагаться выше уровня воды в баке водонапорной башни, так как иначе вода до них доходить не будет.

В бак водонапорной башни вода подается насосами. Это, как правило, центробежные насосы с электрическим приводом. Мы здесь рассмотрим принцип действия другого насоса — так называемого поршневого жидкостного насоса, изображенного на рисунке 126. Основными частями этого насоса являются снабженный клапаном 1 поршень и цилиндр с клапаном 2. Когда поршень опускается вниз, вода под ним закрывает клапан 1 и открывает клапан 2. Через этот клапан вода из цилиндра по трубе 3 начинает накачиваться в верхний резервуар с водой (например, в бак водонапорной башни).

При подъеме поршня клапан 2 закрывается, а клапан 1, наоборот, открывается. Через трубу 4 вода поступает в насос и заполняет цилиндр. При последующих опусканиях и поднятиях поршня

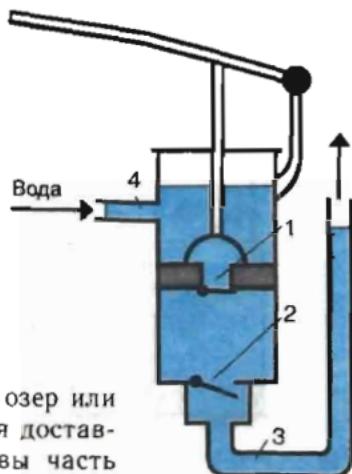


Рис. 126

процесс будет повторяться, и вода, порция за порцией, будет перекачиваться по трубе 3 в верхний резервуар.

- ??? 1. Где и для чего используется вода? 2. Из каких элементов состоит система водоснабжения? 3. Расскажите об устройстве водопровода. 4. Почему водопроводные краны в домах не делают выше уровня воды в баке водонапорной башни? 5. Однаковое ли давление существует в водопроводных кранах на разных этажах? От чего оно зависит? 6. Опишите принцип действия поршневого жидкостного насоса.

§ 45. Гидравлический пресс

После того как Паскаль провел ряд опытов по измерению атмосферного давления, он решил сконструировать «новую машину для увеличения сил». Его изобретение позволило создать гидравлический пресс (от греческого слова «гидравликос» — водяной).

Гидравлический пресс — это машина для обработки материалов давлением, приводимая в действие сдавливающей жидкостью.

Чтобы понять принцип действия гидравлического пресса, рассмотрим рисунок 127. На нем изображены соединенные между собой два цилиндра с поршнями, имеющими разные площади сечения S_1 и S_2 . В цилиндрах находится вода или минеральное масло.

Пусть F_1 и F_2 — силы, действующие на поршни со стороны находящихся на них гирь. Докажем, что жидкость в цилиндрах будет находиться в равновесии лишь тогда, когда сила, действующая на большой поршень, во столько раз превышает силу, действующую на меньший поршень, во сколько раз площадь большего поршня превышает площадь меньшего поршня. Для этого заметим, что жидкость будет оставаться в равновесии только тогда, когда давления под поршнями будут одинаковыми:

$$p_1 = p_2.$$

Но каждое из этих давлений можно выразить через силу и площадь:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}, \quad p_2 = \frac{F_2}{S_2}.$$

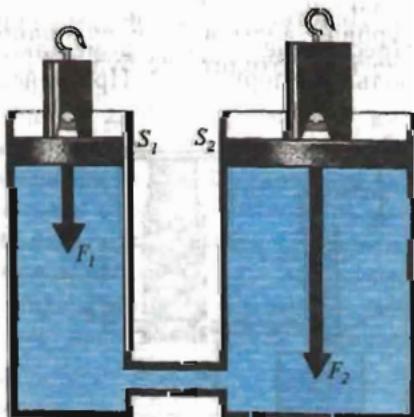


Рис. 127

Таким образом,

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2},$$

откуда

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1},$$

что и требовалось доказать.

Отношение F_2/F_1 характеризует *выигрыш в силе*, получаемый в данной машине. Согласно полученной формуле выигрыш в силе определяется отношением площадей S_2/S_1 . Поэтому, чем *больше отношение площадей поршней, тем больше выигрыш в силе*.

Например, если площадь малого поршня $S_1 = 5 \text{ см}^2$, а площадь большего поршня $S_2 = 500 \text{ см}^2$, то выигрыш в силе будет составлять сто раз! Установив этот удивительный факт, Паскаль написал, что с помощью изобретенной им машины «один человек, надавливающий на малый поршень, уравновесит силу ста человек, надавливающих на поршень, в сто раз больший, и тем самым преодолеет силу девяносто девяти человек». Это открытие и легло в основу принципа действия гидравлического пресса.

Устройство гидравлического пресса показано на рисунке 128. Цифрой 4 обозначен манометр, служащий для измерения давления жидкости внутри пресса; 5 — предохранительный клапан, автоматически открывающийся, когда это давление превышает допустимое значение.

Действие гидравлического пресса основано на законе Паскаля. Прессуемое тело 3 помещают на платформу, соединенную с большим поршнем 2. При действии некоторой силы F_1 на малый поршень 1 в узком цилиндре пресса

создается избыточное давление $p = F_1/S_1$. По закону Паскаля это давление передается во второй цилиндр и на поршень 2 начинает действовать сила:

$$F_2 = pS_2 = \frac{F_1}{S_1} S_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1.$$

Так как площадь второго поршня существенно превышает площадь первого поршня, то сила F_2 оказывается значительно больше силы F_1 .

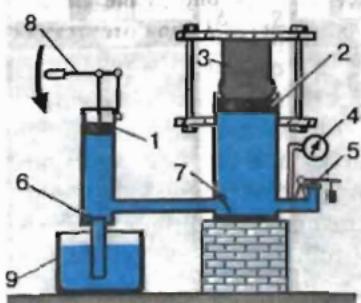


Рис. 128

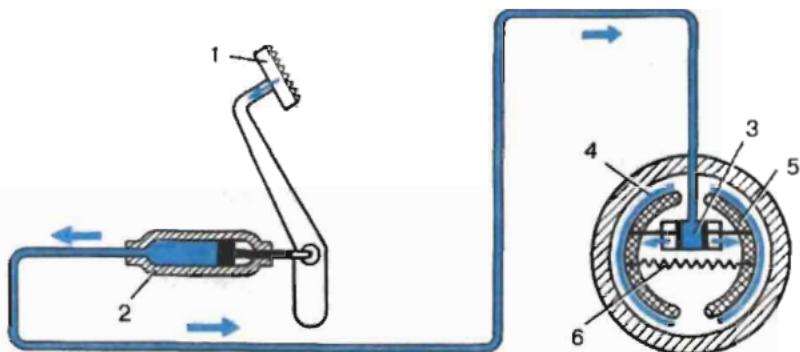


Рис. 129

Под действием силы F_2 поршень 2 начинает подниматься и сдавливает прессуемое тело.

Последующие перекачивания жидкости из узкого цилиндра в широкий осуществляются с помощью периодических нажатий на рычаг 8. После каждого нажатия рычаг следует возвращать в исходное положение. При его подъеме малый поршень перемещается вверх, клапан 6 открывается и в пространство, находящееся под поршнем, из сосуда 9 засасывается очередная порция жидкости. При опускании рычага поршень 1 перемещается вниз и сдавливаемая жидкость закрывает клапан 6; при этом клапан 7 открывается и часть жидкости переходит в широкий цилиндр.

Впервые гидравлические прессы стали применяться на практике в конце XVIII — начале XIX в. Современная техника уже немыслима без них. Они используются в металлообработке для ковки слитков, листовой штамповки, выдавливания труб и профилей, прессования порошковых материалов. С помощью гидравлических прессов получают фанеру, картон и искусственные алмазы.

- ???
1. Что такое гидравлический пресс? 2. Чем определяется выигрыш в силе, даваемый гидравлическим прессом (при отсутствии трения)? 3. Расскажите о применении гидравлического пресса.
 4. На рисунке 129 изображена схема автомобильного гидравлического тормоза (1 — тормозная педаль, 2 — цилиндр с поршнем, 3 — тормозной цилиндр, 4 — тормозные колодки, 5 — тормозные барабаны, 6 — пружина). Цилиндры и трубы заполнены специальной жидкостью. Объясните принцип действия тормоза.

§ 46. Действие жидкости и газа на погруженное в них тело

Если погрузить в воду мячик, наполненный воздухом, и отпустить, то мы увидим, как он тут же всплывает. То же самое произойдет и с щепкой, пробкой и многими другими телами. Какая сила заставляет их всплывать?

Когда тело погружают в воду, на него со всех сторон начинают действовать силы давления воды (рис. 130, а). В каждой точке тела эти силы направлены перпендикулярно его поверхности. Если бы все эти силы были одинаковы, то тело испытывало бы лишь всестороннее сжатие. Но на разных глубинах гидростатическое давление различно: оно возрастает с увеличением глубины. Поэтому силы давления, приложенные к нижним участкам тела, оказываются большие сил давления, действующих на тело сверху. Преобладающие силы давления действуют в направлении снизу вверх. Это и заставляет тело всплывать.

Заменим все силы давления, приложенные к погруженному в воду телу, одной (результатирующей или равнодействующей) силой, оказывающей на тело то же самое действие, что и все эти отдельные силы вместе. Поскольку эта сила направлена вверх, ее называют выталкивающей силой. Есть у нее и другое название — архимедова сила (по имени Архимеда, который впервые указал на ее существование и установил, от чего она зависит). На рисунке 130, б эта сила обозначена как F_A :

Архимедова (выталкивающая) сила действует на тело не только в воде, но и внутри любой другой жидкости, так как во всех жидкостях существует гидростатическое давление, разное на разных глубинах. Более того, эта сила действует и в газах, благодаря чему летают воздушные шары и дирижабли.

Но если на любое тело, погруженное в жидкость, действует

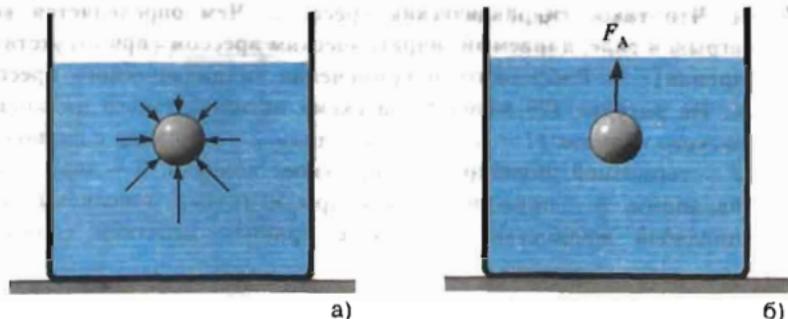


Рис. 130

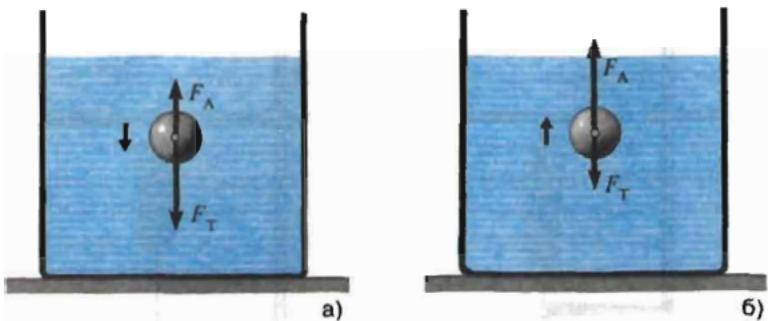


Рис. 131

выталкивающая сила, почему же тогда не все тела всплывают на ее поверхность? Почему тонет гвоздь? Почему не всплывает упавший в воду камень? Почему погружается на дно получивший пробоину корабль?

Чтобы понять, почему в одних случаях тела тонут, а в других всплывают, следует учесть, что на любое тело, погруженное в жидкость, действует не только выталкивающая (архимедова) сила F_A , направленная вертикально вверх, но и сила притяжения к Земле (сила тяжести) F_T , направленная вертикально вниз. От того, какая из этих сил больше, и будет зависеть «судьба» погруженного в жидкость тела. Если это тело было оставлено внутри жидкости в состоянии покоя, то при наличии обеих сил оно начнет двигаться в ту сторону, в которую направлена большая из них. При этом возможны следующие случаи:

- 1) если архимедова сила меньше силы тяжести ($F_A < F_T$), то тело будет опускаться на дно, т. е. тонуть (рис. 131, а);
- 2) если архимедова сила больше силы тяжести ($F_A > F_T$), то тело будет подниматься вверх, т. е. всплывать (рис. 131, б);
- 3) если архимедова сила равна силе тяжести ($F_A = F_T$), то тело будет оставаться в покое.

Благодаря выталкивающей силе вес любого тела, находящегося в воде (или в любой другой жидкости), оказывается меньше, чем в воздухе (а в воздухе меньше, чем в безвоздушном пространстве). В этом легко убедиться на опыте. Для этого достаточно прикрепить груз к динамометру (или к пружине со стрелкой-указателем) и, запомнив положение стрелки-указателя, опустить груз (не отсоединяя его от динамометра) в сосуд с водой. Мы увидим, как стрелка-указатель прибора переместится вверх, показывая уменьшение веса (рис. 132).

Уменьшение веса происходит и при переносе тела из воздуха в вакуум (или какой-либо другой газ).

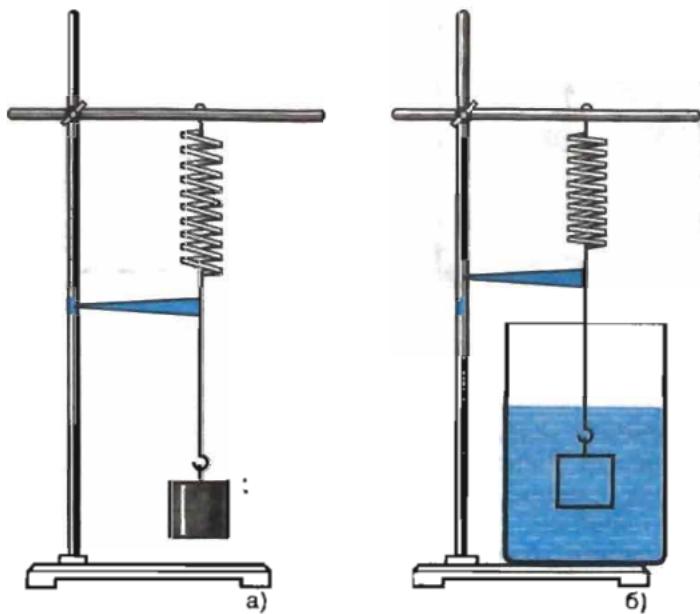


Рис. 132

Если вес тела в вакууме (например, в сосуде, из которого откачен воздух) равен P_0 , то его вес в воздухе будет равен:

$$P_{\text{возд}} = P_0 - F'_A, \quad (46.1)$$

где F'_A — архимедова сила, действующая на данное тело в воздухе. Для большинства обычных тел (не взлетающих вверх, подобно воздушному шару) эта сила ничтожно мала по сравнению с весом тела в вакууме, и потому ею можно пренебречь. В таких случаях мы будем считать, что

$$P_{\text{возд}} = P_0 = mg.$$

Вес тела в жидкости уменьшается значительно сильнее, чем в воздухе. Если вес тела в воздухе $P_{\text{возд}} = P_0$, то вес тела в жидкости оказывается равным:

$$P_{\text{в ждк}} = P_0 - F_A, \quad (46.2)$$

где F_A — архимедова сила, действующая на это тело в данной жидкости.

Из последней формулы следует, что

$$F_A = P_0 - P_{\text{в ждк}}.$$

Поэтому для нахождения архимедовой силы, действующей на то

или иное тело внутри какой-либо жидкости, следует взвесить это тело в воздухе и в жидкости, а затем найти разность полученных значений. Это и будет архимедова (выталкивающая) сила.

- ???
1. Какие известные вам из жизни явления указывают на существование выталкивающей силы?
 2. Что является причиной возникновения выталкивающей силы?
 3. Какие две силы действуют на любое тело, находящееся внутри жидкости или газа?
 4. В каком случае тело будет тонуть в жидкости, а в каком всплыть?
 5. Почему, находясь под водой, человек иногда может легко поднять предмет, который с трудом удерживает в воздухе?
 6. Каким образом можно измерить архимедову силу?
 7. Будет ли действовать выталкивающая сила на тело, плотно прилегающее ко дну?

§ 47. Закон Архимеда

Проделаем опыт (рис. 133). Подвесим к пружине 1 небольшое ведерко 2 и тело цилиндрической формы 3. Отметив положение стрелки-указателя на штативе (рис. 133, а), поместим тело в сосуд, наполненный жидкостью до уровня отливной трубы. При этом часть жидкости, объем которой равен объему тела, выльется из сосуда в находящийся рядом стакан (рис. 133, б). Одновременно с этим вес тела в жидкости уменьшится и указатель пружины переместится вверх.

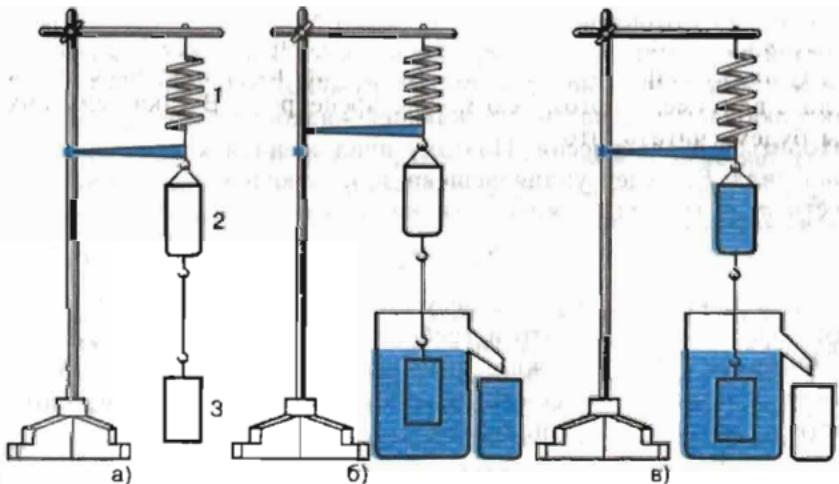


Рис. 133

Из предыдущего параграфа мы знаем, что вес тела в жидкости уменьшается на величину, равную архимедовой (выталкивающей) силе. Связана ли эта величина с количеством вытесненной телом жидкости? Чтобы выяснить это, перельем эту жидкость из стакана в ведерко 2. Мы увидим, как стрелка-указатель снова возвратится к своему прежнему положению (рис. 133, в). Это означает, что *вытесненная телом жидкость весит столько же, сколько теряет в своем весе погруженное в жидкость тело*. Но вес тела в жидкости меньше веса того же тела в воздухе на величину, равную выталкивающей силе. Поэтому окончательный вывод, к которому мы приходим, можно сформулировать следующим образом:

Выталкивающая сила, действующая на погруженное в жидкость тело, равна весу вытесненной этим телом.

Этот закон был открыт Архимедом и потому носит его имя — **закон Архимеда**.

Мы установили этот закон опытным путем. Теперь докажем его теоретически. Для этого заметим, что выталкивающая сила (как равнодействующая всех сил давления, действующих со всех сторон на погруженное в жидкость тело) не зависит от того, из какого вещества сделано это тело. Если, например, в воде находится шарик, то давление окружающих слоев воды будет одним и тем же независимо от того, сделан ли этот шарик из пласти массы, стекла или стали. (Точно так же давление столба жидкости на дно сосуда не зависит от того, из какого материала изготовлено дно этого сосуда.) А раз так, то рассмотрим простейший случай, когда погруженное в жидкость тело состоит из той же жидкости, в которую оно погружено: Это (жидкое) тело, как и любая другая часть окружающей жидкости, будет, очевидно, находиться в равновесии. Поэтому приложенная к нему архимедова сила F_A будет уравновешена действующей вниз силой тяжести $m_A g$ (где m_A — масса жидкости в объеме данного тела):

$$F_A = m_A g. \quad (47.1)$$

Но сила тяжести $m_A g$ равна весу вытесненной жидкости P_A . Таким образом, $F_A = P_A$, что и требовалось доказать.

Формулу (47.1) можно переписать в другом виде. Учитывая, что масса жидкости m_A равна произведению ее плотности ρ_A на объем V_A , получаем

$$F_A = \rho_A V_A g. \quad (47.2)$$

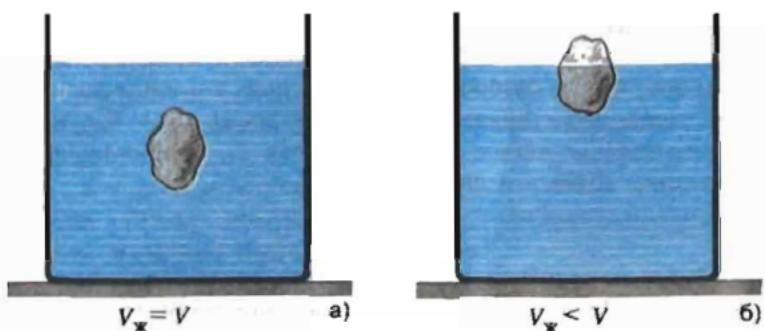


Рис. 134

Через V_x здесь обозначен объем вытесненной жидкости. Этот объем равен объему той части тела, которая погружена в жидкость. Если тело погружено в жидкость целиком, то он совпадает с объемом V всего тела; если же тело погружено в жидкость частично, то он меньше объема V тела (рис. 134).

Формула (47.2) остается справедливой и для архимедовой силы, действующей в газе; только в этом случае в нее следует подставлять плотность газа и объем вытесненного газа, а не жидкости.

С учетом вышеизложенного закон Архимеда в настоящее время формулируют следующим образом:

На всякое тело, погруженное в покоящуюся жидкость (или газ), действует со стороны этой жидкости (или газа) выталкивающая сила, равная произведению плотности жидкости (или газа), ускорения свободного падения и объема той части тела, которая погружена в жидкость (или газ).

- ???
1. Сформулируйте закон Архимеда в старой и современной (более общей) форме. 2. Имеются два шарика одинакового радиуса: деревянный и стальной. Одинаковая ли выталкивающая сила будет действовать на них при их полном погружении в воду? 3. Тело полностью погрузили сначала в чистую воду, а затем — в соленую. В какой воде на тело действовала большая выталкивающая сила? 4. К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: свинцовый и алюминиевый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в воду? 5. К коромыслу весов подвешены два одинаковых по объему алюминиевых цилиндра. Нарушится ли равновесие весов, если один цилиндр погрузить в воду, а другой (одновременно с первым) — в спирт?

§ 48. Плавание тел

Мы знаем, что на любое тело, находящееся в жидкости, действуют две силы: выталкивающая (архимедова) сила F_A , направленная вертикально вверх, и сила тяжести F_T , направленная вертикально вниз. Если эти силы равны, т. е.

$$F_T = F_A, \quad (48.1)$$

то тело будет находиться в равновесии.

Равенство (48.1) выражает **условие плавания тел**: для того чтобы тело плавало, необходимо, чтобы действующая на него сила тяжести уравновешивалась архимедовой (выталкивающей) силой.

Условию плавания тел можно придать иную форму. Представим архимедову силу в виде

$$F_A = \rho_{ж} V_{ж} g. \quad (48.2)$$

Аналогичным образом можно выразить и силу тяжести, действующую на тело. Мы знаем, что $F_T = mg$, где m — масса тела; но масса тела равна произведению плотности тела на его объем: $m = \rho V$. Поэтому

$$F_T = \rho V g. \quad (48.3)$$

Подставим выражения (48.2) и (48.3) в равенство (48.1):

$$\rho V g = \rho_{ж} V_{ж} g.$$

Разделив обе части этого равенства на g , получим **условие плавания тел в новой форме**:

$$\rho V = \rho_{ж} V_{ж}. \quad (48.4)$$

Из полученного соотношения можно вывести два важных следствия.

1. Для того чтобы тело плавало, будучи полностью погруженным в жидкость, необходимо, чтобы плотность тела была равна плотности жидкости.

Доказательство. Если тело полностью погружено в жидкость, то объем вытесняемой телом жидкости будет равен объему всего тела (см. рис. 134, а): $V_{ж} = V$. А раз так, то эти объемы в формуле (48.4) можно сократить. При этом останется: $\rho = \rho_{ж}$, что и требовалось доказать.

2. Для того чтобы тело плавало, частично выступая над поверхностью жидкости, необходимо, чтобы плотность тела была меньше плотности жидкости.

Доказательство. Если тело плавает, частично выступая над поверхностью жидкости, то объем вытесненной телом жидкости будет меньше объема всего тела (см. рис. 134, б): $V_{\text{в}} < V$. А раз так, то для сохранения равенства (48.4) необходимо, чтобы плотность жидкости была больше плотности тела: $\rho_{\text{ж}} > \rho$, что и требовалось доказать.

При $\rho > \rho_{\text{ж}}$ плавание тела невозможно, так как в этом случае сила тяжести превышает архимедову силу, и тело тонет.

Что будет происходить с телом, у которого $\rho < \rho_{\text{ж}}$, если его полностью погрузить в жидкость? В этом случае архимедова сила будет преобладать над силой тяжести, и потому тело начнет подниматься вверх. Пока тело будет двигаться, будучи полностью погруженным в жидкость, архимедова сила будет оставаться неизменной. Но как только тело достигнет поверхности жидкости и появится над ней, эта сила (по мере уменьшения объема части тела, погруженной в жидкость) будет становиться все меньше и меньше. Всплытие прекратится тогда, когда архимедова (выталкивающая) сила уменьшится и станет равной силе тяжести. При этом, чем меньшей плотностью (по сравнению с плотностью жидкости) обладает тело, тем меньшая его часть останется внутри жидкости (рис. 135).

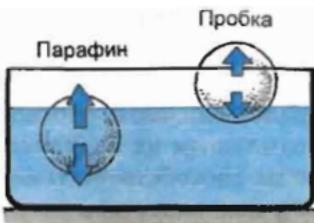


Рис. 135

- ???
- Сформулируйте условие плавания тел.
 - В каком случае тело плавает полностью погруженным в жидкость?
 - В каком случае тело плавает, частично выступая над поверхностью жидкости?
 - Предположим, что в сосуд налили воду и керосин. Какая из этих жидкостей расположится сверху?
 - В какой из следующих жидкостей будет плавать лед: в керосине, в воде или в спирте?
 - В какой из следующих жидкостей будет плавать гвоздь: в ртути или в машинном масле?
 - Куриное яйцо тонет в пресной воде, но плавает в соленой. Почему?
 - Как зависит глубина погружения плавающего тела от его плотности?



Экспериментальное задание. Опустите сырую картофелину в стеклянную банку с пресной водой. Почему она тонет? Как будет вести себя картофелина, если в воду насыпать соль? Медленно выссыпая соль и размешивая воду, добейтесь того, чтобы картофелина могла плавать в толще воды, будучи полностью в нее погруженной. Какой должна быть плотность соленой воды, чтобы это было возможным?

§ 49. Плавание животных и человека

Средняя плотность живых организмов, населяющих водную среду, близка к плотности окружающей их воды. Это и делает возможным их плавание под водой. Плаванию животных в толще воды способствует также дополнительная подъемная сила, которая возникает при их перемещении в водной среде¹.

Различают активное и пассивное плавание. При *активном плавании* животные передвигаются либо с помощью имеющихся у них гребных органов (как, например, различные ластоногие животные, а также простейшие организмы, использующие свои жгутики или реснички), либо посредством волнообразных изгибаний тела и использования непарных плавников (как, например, киты, большинство рыб, змей, пиявки и т. д.), либо в результате периодических выталкиваний воды (как, например, медузы и осьминоги). При *пассивном плавании* животные просто увлекаются движущейся водой.

Скорость передвижения животных в воде может достигать довольно больших значений. Например, акулы и скунбрии плавают со скоростью 20 км/ч и выше, летучие рыбы разгоняются до скорости 65 км/ч, а меч-рыба развивает скорость до 130 км/ч.

Большую роль в передвижении рыб внутри воды играет плавательный пузырь. Меняя объем этого пузыря (а также количество газа в нем), рыба способна как увеличивать, так и уменьшать действующую на нее выталкивающую силу. Благодаря этому рыба может в определенных пределах регулировать глубину своего погружения.

Киты регулируют глубину своего погружения за счет уменьшения и увеличения объема легких.

В настоящее время известно, что жизнь на Земле зародилась в водной среде. Это произошло около 4 миллиардов лет тому назад. 400 миллионов лет назад жизнь вышла из моря. 65 миллионов лет назад появились первые млекопитающие. Но вода и сейчас продолжает составлять значительную часть в живых организмах, причем как в морских животных, так и в млекопитающих, обитающих на суше (включая человека). Например, у десятидневного человеческого эмбриона содержание воды достигает 95%, у новорожденного — приблизительно 72%, а у взрослого человека — в среднем 60%.

Строение человека таково, что его плотность оказывается близ-

¹ Эта подъемная сила аналогична той, которая действует на крылья летящего самолета.

кой к плотности воды. У многих людей она чуть меньше, особенно когда желудок пустой, а вода соленая. В таких случаях человек способен свободно находиться на поверхности воды, не боясь утонуть. Вот что написал об этом в одном из своих рассказов американский писатель Эдгар По (1809—1849):

«В среднем человеческое тело немногим тяжелее или легче воды... Тела тучных, дородных людей с тонкими костями и тела подавляющего большинства женщин легче, чем тела худощавых крупнокостных мужчин... Упавший в реку человек почти никогда не пойдет ко дну, если он позволит весу своего тела прийти в соответствие с весом вытесненной им воды — другими словами, если он погрузится в воду почти целиком. Для людей, не умеющих плавать, наиболее правильной будет вертикальная позиция идущего человека, причем голову следует откинуть и погрузить в воду так, чтобы над ней оставались только рот и нос. Приняв подобную позу, вы обнаружите, что без всяких усилий и труда держитесь у самой поверхности. Однако совершенно очевидно, что вес человеческого тела и вес воды, которую оно вытесняет, находятся лишь в весьма хрупком равновесии, так что достаточно ничтожного пустяка, чтобы оно нарушилось в ту или иную сторону. Например, рука, поднятая над водой и тем самым лишенная ее поддержки, представляет собой добавочный вес, которого достаточно, чтобы голова ушла под воду целиком, тогда как случайно схваченный даже небольшой кусок дерева позволит вам приподнять голову и оглядеться. Человек, не умеющий плавать, обычно начинает биться в воде, вскидывает руки и старается держать голову, как всегда, прямо. В результате рот и ноздри оказываются под водой, которая при попытке вздохнуть проникает в легкие. Кроме того, большое ее количество попадает в желудок, и все тело становится тяжелее настолько, насколько вода тяжелее воздуха; наполнившую эти полости прежде. Как правило, этой разницы достаточно для того, чтобы человек пошел ко дну».

На Земле есть и такое море, в котором вообще невозможно утонуть. Это соленое озеро, называемое Мертвым морем. Оно настолько соленое, что в нем отсутствует всякая жизнь (за исключением некоторых видов бактерий). Если вода большинства морей и океанов содержит 2—3% соли, то в Мертвом море ее содержится более 27%! Из-за большого содержания соли плотность воды здесь оказывается больше плотности человеческого тела, и потому человек в Мертвом море может спокойно лежать на его поверхности и читать книгу. Если же в эту воду войдет лошадь, то, как пишет Марк Твен, она оказывается в столь неустойчивом состоянии, что «не может ни плавать, ни стоять в Мертвом море,— она тотчас же ложится на бок».

Помимо Мертвого моря, огромной соленостью обладают также воды залива Кара-Богаз-Гол и озера Эльтон в Волгоградской области.

Некоторым больным специально рекомендуют принимать солевые ванны. Погружаясь в такую ванну, люди испытывают странное и необычное ощущение. «Если соленость воды очень велика, как, например, в Старорусских минеральных водах, то больному приходится прилагать немало усилий, чтобы удержаться на дне ванны. Я слышал,— пишет Я. И. Перельман,— как женщина, лечившаяся в Старой Руссе, с возмущением жаловалась, что вода «положительно выталкивала ее из ванны». Кажется, она склонна была винить в этом не закон Архимеда, а администрацию курорта...»

△ **Экспериментальное задание.** Попытайтесь определить среднюю плотность своего тела. Для этого сначала измерьте свою массу (например, на весах в медицинском кабинете своей школы). Затем с помощью своего друга определите объем тела. При определении своего объема погрузитесь полностью в ванну с водой. Одновременно с этим ваш друг с помощью кусочка липкой ленты (скотча) должен отметить уровень поднявшейся воды в ванне. Затем, выйдя из ванны, возьмите литровую (или поллитровую) банку и добавьте в ванну столько воды, чтобы ее поверхность поднялась до отмеченного лентой уровня. Подсчитав, сколько банок воды пришлось вылить в ванну, вы найдете свой объем, а зная объем и массу,— плотность.

Определив свою плотность, сравните ее с плотностью воды. Будете ли вы тонуть в морской воде? Плотность морской воды составляет обычно $1010—1050 \text{ кг}/\text{м}^3$. Плотность воды в заливе Кара-Богаз-Гол равна $1180 \text{ кг}/\text{м}^3$.

§ 50. Плавание судов

Необходимость преодолевать водные преграды, перевозя грузы по воде, а также использование рек, озер и морей как охотничьих угодий уже в глубокой древности привели к изобретению человеком плавучих средств. Сначала это были просто деревесные стволы или надутые мешки из шкур животных (бурдюки), за которые держались переправляющие реку люди, примитивные плоты из скрепленных друг с другом бревен, круглые корзины, обтянутые кожей, а также лодки, которые выдалбливались или выжигались из массивных стволов деревьев. Развивающееся мор-

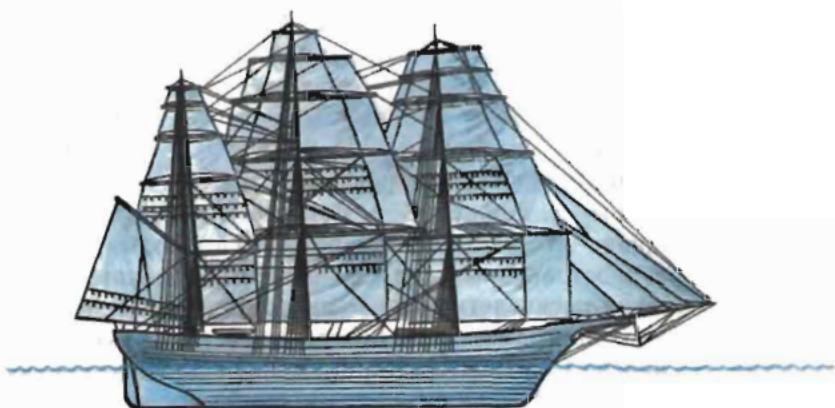


Рис. 136

ское дело требовало увеличения размеров плавающих судов, что привело к построению кораблей.

Первые плавучие средства передвигались либо просто благодаря течению реки, либо за счет использования щестов и весел. Но уже в третьем тысячелетии до н. э. стали применяться паруса. Первые паруса изготавливались из шкур, тростниковых циновок и деревянных планок. Долгое время паруса играли вспомогательную роль, и лишь в X—XIII вв. появились первые чисто парусные суда. Наивысшего развития они достигли во второй половине XIX в.: длина их составляла 90 м, скорость 33 км/ч и выше. Самыми быстроходными из них были трех- и четырехмачтовые клиперы (рис. 136). Они перевозили из Азии и Австралии чай, шерсть и другие ценные грузы, которых не хватало в Европе и Америке. Рекорд скорости, поставленный чайным клипером «Катти Сарк», — 21 узел (1 уз = 1,852 км/ч) — не побит до сих пор ни одним из парусных судов.

В 1803 г. Р. Фултон установил на 18-метровой лодке гребные колеса, приводимые в движение паровой машиной. Первые испытания нового судна на реке Сене (в Париже) прошли неудачно: лодка затонула. Двигатель с затонувшей лодки поставили на новое судно, но и эта попытка не увенчалась успехом. Для продолжения испытаний требовалась финансовая поддержка. Однако когда Фултон обратился за поддержкой к Наполеону Бонапарту, предлагая перевести французские корабли на паровую тягу, то получил отказ. Осуществить свой проект Фултон смог лишь у себя на родине, в США, где в 1807 г. построил первый действующий пароход «Клермонт». Этот пароход стал

совершать регулярные рейсы по реке Гудзон, проходя расстояние 277 км со средней скоростью 9 км/ч.

После изобретения парохода в разных странах мира на судна стали устанавливать паровые машины, и паруса постепенно утратили свое значение.

В 1903 г. в России был построен первый теплоход — судно, приводимое в движение с помощью двигателя внутреннего сгорания. В настоящее время теплоходы являются самым распространенным видом водного транспорта.

На протяжении тысячелетий дерево представлялось единственным материалом, пригодным для построения судов. Всем было известно, что дерево (плотность которого меньше плотности воды) не тонет и запасов его в лесах столько, что проблем с построением из него судов никогда не будет.

Когда же в середине XVII в. появились предложения заменить в судостроении дерево на железо, многим это показалось абсурдным. Плотность железа больше плотности воды, и потому любой железный предмет, брошенный в воду, тонет. Как же можно строить корабли из железа? Разве они будут плавать? Между тем в 1787 г. англичанину Дж. Уилкинсону удалось построить первое железное судно длиной 21,5 м. И оно плавало!

Со второй половины XIX в. железо стало уступать место стали. Корабли стали более прочными, надежными и долговечными.

Масса современных судов достигает нескольких десятков тысяч тонн. Почему же они не тонут? Дело в том, что, несмотря на огромную массу, их средняя плотность по-прежнему меньше плотности воды. При этом сила тяжести, действующая на судно, уравновешивается архимедовой (выталкивающей) силой, и судно плавает.

Если бы корабли не имели внутри себя заполненных воздухом отсеков и целиком состояли бы из металла, они, конечно, не смогли бы удерживаться на воде. Но корабли содержат много пустых помещений. Это и приводит к тому, что их средняя плотность оказывается меньше плотности воды.

Глубина, на которую плавающее судно погружается в воду, называется осадкой судна. При полной загрузке судна оно не должно погружаться в воду ниже так называемой грузовой ватерлинии (от голландского слова «ватер» — вода). Так называют линию соприкосновения поверхности воды с корпусом судна, соответствующую наибольшей допустимой осадке. На бортах морских судов эта линия отмечается специальным знаком — грузовой маркой. Грузовую марку изображают в виде круга, пересеченного по центру горизонтальной линией (которая соответствует ватерлинии для

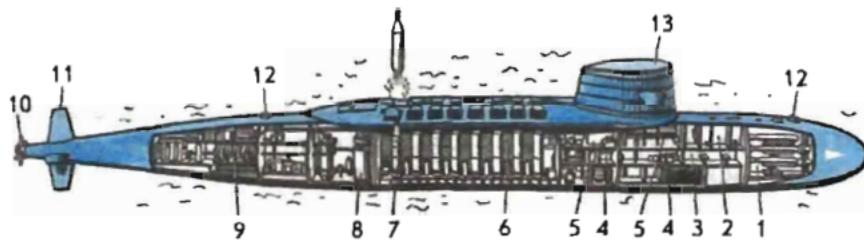


Рис. 137. Атомная ракетная подводная лодка:

1 — торпедный отсек; 2 — жилые помещения; 3 — столовая; 4 — пост управления запуском ракет; 5 — центральный пост; 6 — ракетный отсек; 7 — пусковая шахта; 8 — реактор; 9 — главные турбины; 10 — гребной винт; 11 — рули управления; 12 — спасательный (выходной) люк; 13 — ходовой мостик

морской воды в летнее время в зоне умеренного климата), и ряда дополнительных горизонтальных линий, показывающих предельное погружение судна в море или в реке в зависимости от времени года и района плавания.

Осадка современных супертанкеров при полной загрузке (несколько сот тысяч тонн) может достигать 23 м (в то время как надводная часть судна составляет всего лишь 5—6 м). Для полной остановки такого танкера, идущего со скоростью 30 км/ч, требуется дистанция 5 км и время 25 мин.

Массу воды, вытесняемой плавающим судном, называют *водоизмещением* судна. Водоизмещение судна совпадает с его собственной массой (вместе с грузом) и обычно выражается в тоннах. Вследствие расходования топлива, провизии, боеприпасов (на военных судах), а также приема или снятия груза водоизмещение судна меняется. Максимальное допустимое водоизмещение судна соответствует его погружению в воду по грузовую марку.

Суда, способные плавать под водой, называют подводными, а все остальные — надводными.

Первая подводная лодка была построена в 1620 г. в Англии. Ее изобретателем был голландский ученый К. ван Дреббель. Много позже подводные лодки появились в России (1724), в Северной Америке (1776), во Франции (1801), в Германии (1850). К началу XX в. почти все морские государства начали строить боевые подводные лодки.

Для погружения в воду в подводных лодках применяют специальные балластные цистерны, наполняемые водой. Всплытие подводной лодки происходит вследствие вытеснения воды из этих цистерн сжатым воздухом.

Современные (атомные) подводные лодки представляют собой гигантские сооружения, оснащенные самым современным оружием

(рис. 137). Например, атомная ракетная подводная лодка «Огайо» (США) характеризуется водоизмещением 18 700 т и длиной 171 м (в то время как первая американская боевая лодка «Давид», периода гражданской войны в США, имела длину всего лишь 10,6 м при экипаже 9 человек). И если перед началом первой мировой войны скорость подводных лодок составляла 9—10 узлов, то теперь она в 4 раза больше.

- ???
1. Почему гвоздь в воде тонет, а тяжелое металлическое судно нет?
 2. Почему тонет корабль, получивший пробоину?
 3. Что такое осадка?
 4. Что представляет собой грузовая марка?
 5. Что называют водоизмещением судна?
 6. С помощью чего подводные лодки могут погружаться под воду и всплывать?
 7. Кто построил первый пароход?
 8. Чем пароход отличается от теплохода?

§ 51. Воздухоплавание

На все тела в воздухе (как и в жидкости) действует выталкивающая (архимедова) сила. Чтобы убедиться в этом, проделаем следующий опыт. Уравновесим на весах сосуд, наполненный сжатым воздухом и закрытый пробкой, через которую пропущена стеклянная трубка, соединенная с пустой оболочкой резинового шарика (рис. 138, а). Если открыть кран на трубке, то сжатый воздух наполнит шарик и он увеличится в объеме. Как только это произойдет, мы увидим, что равновесие весов нарушится (рис. 138, б). Произойдет это потому, что на шарик начнет действовать дополнительная выталкивающая сила и его вес уменьшится.

Чтобы найти архимедову (выталкивающую) силу, действующую на тело в воздухе, надо плотность воздуха $\rho_{\text{возд}}$ умножить на ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ и на объем V тела.

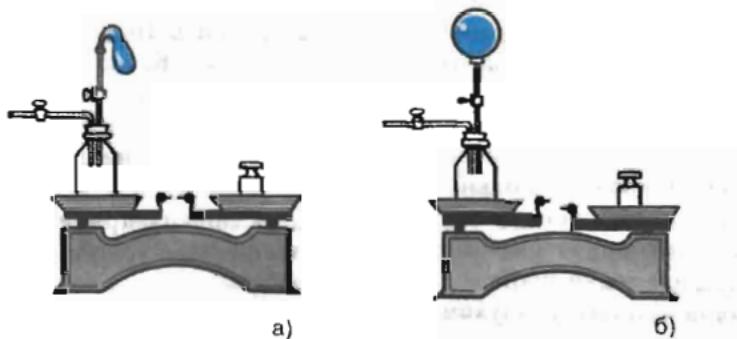


Рис. 138

находящегося в воздухе:

$$F_A = \rho_{\text{возд}} g V.$$

Если эта сила окажется больше силы тяжести, действующей на тело, то тело взлетит. На этом основано *воздухоплавание*.

Летательные аппараты, применяемые в воздухоплавании, называют *аэростатами*. Различают управляемые, неуправляемые и привязные аэростаты. Неуправляемые аэростаты свободного полета с оболочкой, имеющей форму шара, называют *воздушными шарами*. Управляемые аэростаты (имеющие двигатель и воздушные винты) называют *дирижаблями*. Привязные аэростаты соединяют с землей тросом, не позволяющим аппарату совершать горизонтальные перелеты.

Чтобы аэростат поднимался вверх, его нужно наполнить газом, плотность которого меньше, чем у воздуха. Это может быть, например, водород, гелий или нагретый воздух.

Первая попытка подъема в воздух на большом шаре, наполненном дымом, была предпринята в 1731 г. русским подьячим Крякуновым в Казани. За этот полет церковники изгнали Крякунова из родного города, и о его шаре вскоре забыли.

Во Франции первый воздушный шар (монгольфье), который с успехом стали применять в целях воздухоплавания, был построен лишь 52 года спустя братьями Ж. и Э. Монгольфье. Для наполнения шара они использовали горячий воздух. Убедившись, что шар может летать, братья Монгольфье посадили в корзину воздушного шара овцу, петуха и утку. Эти животные и стали первыми воздухоплавателями. Осенью 1783 г. на этом же шаре отправились в свой первый (25-минутный) полет люди — Пилат де Розье и д'Арланд.

Для того чтобы определить, какой груз способен поднять воздушный шар, следует знать его подъемную силу. **Подъемная сила** воздушного шара равна разности между архимедовой силой и действующей на шар силой тяжести:

$$F = F_A - F_T.$$

Чем меньше плотность газа, заполняющего воздушный шар данного объема, тем меньше действующая на него сила тяжести и потому тем больше возникающая подъемная сила.

При нагревании воздуха от 0 °C до 100 °C его плотность уменьшается всего лишь в 1,37 раза. Поэтому подъемная сила шаров, наполненных теплым воздухом, оказывается небольшой. Заметив



Рис. 139

это, французский ученый Ж. Шарль предложил наполнять воздушный шар водородом — газом, плотность которого в 14 раз меньше плотности воздуха. Благодаря такой плотности подъемная сила водорода более чем втройе превышает подъемную силу нагретого воздуха того же объема.

Первый полет на воздушном шаре, наполненном водородом (рис. 139), состоялся в первый день зимы 1783 г. Диаметр шара составлял 8,5 м. Проведя в полете 2,5 ч, воздухоплаватели провели замеры давления и температуры воздуха на высоте 3400 м. Подобные измерения

впоследствии стали играть важную роль в метеорологии.

В России первые полеты на воздушном шаре были осуществлены в 1803 г. (сначала в Петербурге, затем в Москве).

Вначале полеты на воздушных шарах имели, как правило, развлекательный характер. Но затем аэростаты все больше и больше стали применять с научными (изучение атмосферы, метеорологические исследования) и военными (разведка, бомбардировка) целями, а также в качестве транспортного средства. В 1929 г. немецкий дирижабль «Граф Цепеллин» совершил с тремя промежуточными посадками кругосветный перелет протяженностью 35 тыс. км за 21 день. Средняя скорость полета при этом составила 177 км/ч.

В годы Великой Отечественной войны аэростаты («аэростаты заграждения») сыграли большую роль в противовоздушной обороне Москвы и Ленинграда.

Наполняя аэростат водородом, следует помнить, что этот газ обладает одним большим недостатком — он горит и вместе с воздухом образует взрывчатую смесь. Поэтому при полетах на воздушных шарах, наполненных водородом, следует соблюдать особую осторожность, иначе такой полет может закончиться трагедией. Одна из таких трагедий произошла в 1937 г., когда во время приземления взорвался немецкий дирижабль «Гинденбург», унеся с собой 36 человеческих жизней.

Негорючим и в то же время легким газом является гелий. Поэтому многие аэростаты в наше время наполняют гелием.

Плотность воздуха уменьшается с увеличением высоты. Поэтому по мере поднятия аэростата вверх действующая на него архимедова сила становится меньше. После того как архимедова

сила достигает значения, равного силе тяжести, подъем аэростата прекращается. Чтобы подняться выше, с шара сбрасывают специально взятый для этого балласт (например, высыпают песок из мешков). При этом сила тяжести уменьшается, и выталкивающая сила вновь оказывается преобладающей.

Для того чтобы опуститься на землю, выталкивающую силу, наоборот, следует уменьшить. Это достигается путем уменьшения объема шара. В верхней части шара имеется специальный клапан. При открывании этого клапана часть газа из шара выходит, и шар начинает опускаться вниз.

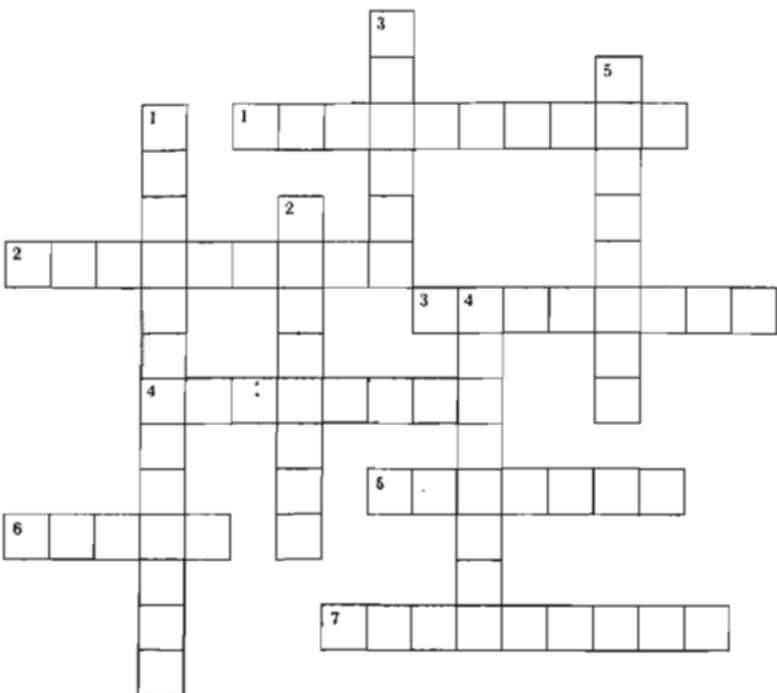
Воздушные шары, предназначенные для полетов в стратосферу (т. е. на высоту более 11 000 м), называют *стратостатами*. Подъемная сила стратостатов должна быть достаточно велика. Поэтому их наполняют водородом, у которого она максимальна.

Теплый воздух также не утратил своего значения. Он удобен тем, что его температуру (а вместе с ней его плотность и, следовательно, подъемную силу) можно регулировать с помощью газовой горелки, расположенной под отверстием, находящимся в нижней части шара. Увеличивая пламя горелки, можно заставить шар подниматься выше. При уменьшении пламени горелки шар опускается вниз. Можно подобрать такую температуру, при которой сила тяжести, действующая на шар вместе с кабиной, оказывается равной выталкивающей силе. Тогда шар повисает в воздухе, и с него легко проводить наблюдения.

В наше время ученые и конструкторы планируют использование аэростатов не только на Земле, но и на других планетах. Так, например, в 1985 г. советские автоматические межпланетные станции «Вега-1» и «Вега-2» доставили аэростаты на Венеру. Перемещаясь в ее атмосфере, эти аппараты передали на Землю ценную информацию о физических условиях на этой планете.

- ???
1. Что такое аэростаты? 2. Чем отличаются воздушные шары от дирижаблей? 3. Почему воздушные шары иначе называют монгольфьерами? 4. Какими газами наполняют аэростаты? Почему именно ими? 5. Какие летательные аппараты называют стратостатами? 6. Как определяется подъемная сила воздушного шара? 7. Как регулируют высоту подъема воздушного шара, наполненного теплым воздухом? 8. Шарик, наполненный гелием, был случайно отпущен ребенком. До каких пор этот шарик будет подниматься вверх?

КРОССВОРД «ПОВТОРИМ ПРОЙДЕННОЕ — 5»

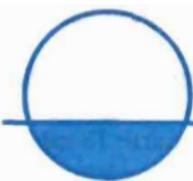


По горизонтали:

1. Воздушный шар, предназначенный для полетов в стратосферу.
2. Газовая оболочка, окружающая Землю.
3. Отношение силы давления к площади.
4. Прибор для измерения давления, большего или меньшего атмосферного.
5. Единица давления.
6. Инструмент для взятия проб различных жидкостей.
7. Барометрический высотомер, используемый в авиации.

По вертикали:

1. Масса воды, вытесняемой плавающим судном.
2. Судно, приводимое в движение с помощью двигателя внутреннего сгорания.
3. Глубина, на которую плавающее судно погружается в воду.
4. Летательный аппарат, применяемый в воздухоплавании.
5. Прибор для измерения атмосферного давления.



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Глава 1

1. Определите цену деления измерительного цилиндра, изображенного на рисунке 5. Чему равен объем воды в нем?
2. Определите цену деления измерительных цилиндров, изображенных на рисунке 140, если их вместимость выражена в миллилитрах. Каковы объемы воды в них?
3. Определите цену деления термометра, изображенного на рисунке 7, слева. Какую температуру показывает этот термометр?
4. Определите цену деления термометра, изображенного на рисунке 7, справа. Какую температуру показывает этот термометр?

Глава 2

5. Укажите, относительно каких тел пассажир, находящийся в каюте теплохода, находится в покое и относительно каких тел он движется.
6. Укажите, относительно каких тел ученик, читающий дома книгу, находится в покое и относительно каких тел он движется.
7. Выразите в метрах следующие расстояния: 15 см; 2 км; 40 мм.
8. Выразите в метрах следующие расстояния: 5 см; 35 км; 2 мм.
9. Выразите в секундах следующие промежутки времени: 2 ч; 0,5 ч; 10 мин; 2 мин.

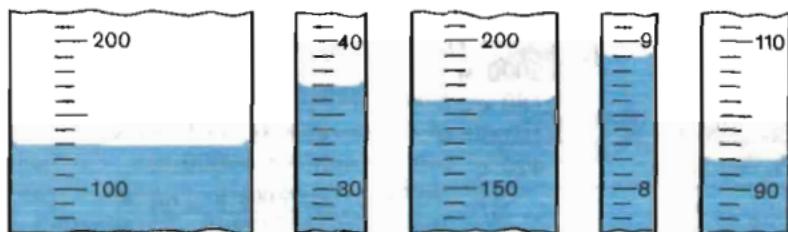


Рис. 140

10. Выразите в секундах следующие промежутки времени: 1 ч; 20 мин; 0,5 мин.

11. Выразите в метрах в секунду следующие скорости: 9 км/ч; 36 км/ч; 108 км/ч; 30 м/мин; 20 см/с.

12. Выразите в метрах в секунду следующие скорости: 18 км/ч; 54 км/ч; 72 км/ч; 120 м/мин; 5 см/с.

13. Во сколько раз поезд, имеющий скорость 54 км/ч, движется быстрее мухи, летящей со скоростью 5 м/с?

14. Самое быстроходное млекопитающее — гепард. На коротких дистанциях он может развивать скорость 112 км/ч. Во сколько раз эта скорость превышает скорость автомобиля, равную 20 м/с?

15. За 10 мин заяц-русак пробегает путь 10 км. Определите его скорость (в международной системе единиц — СИ).

Дано:

$$t = 10 \text{ мин}$$

$$s = 10 \text{ км}$$

$$v = ?$$

СИ

$$600 \text{ с}$$

$$10000 \text{ м}$$

$$\dots \text{ м/с}$$

Решение:

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

$$v = \frac{10000 \text{ м}}{600 \text{ с}} \approx 16,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $v \approx 16,7 \text{ м/с.}$

16. Путь 20 км волк пробегает за 30 мин. Определите скорость волка.

17. Скорость первого искусственного спутника Земли, запущенного в СССР в 1957 г., составляла примерно 28 080 км/ч. Определите путь, пройденный этим спутником за 5 мин.

18. Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч. Какой путь он проедет за 10 с?

19. За какое время солнечный свет достигает Земли, если расстояние от Земли до Солнца составляет примерно $150 \cdot 10^6$ км?

20. Человек идет по дороге со скоростью 3,6 км/ч. За какое время он пройдет 500 м?

21. Автомобиль проезжает первые 2 км пути за 3 мин, а последующие 10 км — за 7 мин. Определите среднюю скорость автомобиля на всем пути.

Дано:

$$s_1 = 2 \text{ км}$$

$$t_1 = 3 \text{ мин}$$

$$s_2 = 10 \text{ км}$$

$$t_2 = 7 \text{ мин}$$

$$v_{cp} = ?$$

СИ

$$2000 \text{ м}$$

$$180 \text{ с}$$

$$10000 \text{ м}$$

$$420 \text{ с}$$

$$\dots \text{ м/с}$$

Решение:

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

$$s = s_1 + s_2 = 12000 \text{ м},$$

$$t = t_1 + t_2 = 600 \text{ с},$$

$$v_{cp} = \frac{12000 \text{ м}}{600 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $v_{cp} = 20 \text{ м/с.}$

22. Вагон, двигаясь под уклон, проходит путь 120 м за 10 с. Скатившись с него, он проезжает до остановки еще 360 м за 1,5 мин. Определите среднюю скорость вагона на всем пути.

23. Если человек, сидящий в лодке, перестанет гребти, то лодка все равно продолжает некоторое время плыть дальше. Почему?

24. Если тарелку, полную супа, быстро поставить на стол, суп из тарелки выплескивается. Почему?

25. Выразите в килограммах следующие массы: 2 т; 1,22 т; 0,1 т; 220 г; 3 г; 150 мг; 20 мг.

26. Определяя массу тела, ученик уравновесил его на весах, поставив на другую чашу весов следующие гири: одну 50 г, две по 20 г, одну 10 г и по одной 50 мг, 20 мг и 10 мг. Чему равна масса взвешиваемого тела? Выразите ее в граммах и килограммах.

27. Выразите в кубических метрах следующие объемы: 450 дм³; 150 мл; 5 мл; 2 л; 263 см³; 10 см³.

28. Выразите в кг/м³ следующие плотности: 0,9 г/см³; 2 г/см³; 1,5 г/см³.

29. Самое легкое дерево — бальза. Масса его древесины объемом 0,001 м³ равна 120 г. Чему равна плотность бальзы (в СИ)?

Дано:
 $V = 0,001 \text{ м}^3$
 $m = 120 \text{ г}$
 $\rho = ?$

СИ
 $0,001 \text{ м}^3$
 $0,12 \text{ кг}$
 $\dots \text{ кг/м}^3$

Решение:

$$\rho = \frac{m}{V},$$
$$\rho = \frac{0,12 \text{ кг}}{0,001 \text{ м}^3} = 120 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответ: $\rho = 120 \text{ кг/м}^3$.

30. Масса некоторого вещества, взятого в объеме 0,2 см³, равна 3,86 г. Что это за вещество?

31. При определении плотности серебряного изделия было получено значение 11 г/см³. Есть ли внутри этого серебра примеси более тяжелых металлов?

32. На рисунке 141 изображены бруски одинаковой массы, изготовленные из меди, алюминия, олова, золота и свинца. Пользуясь таблицей плотностей, определите, из какого вещества изготовлен каждый бруск.

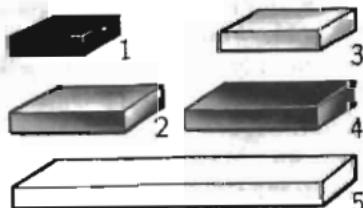


Рис. 141

33. Длина точильного бруска равна 30 см, ширина 5 см, толщина 2 см. Масса бруска 1,2 кг. Определите плотность вещества, из которого сделан бруск.

Дано:	СИ	Решение:
$a = 30 \text{ см}$	0,3 м	$\rho = \frac{m}{V}, V = abc,$
$b = 5 \text{ см}$	0,05 м	$V = 0,3 \text{ м} \cdot 0,05 \text{ м} \cdot 0,02 \text{ м} = 0,0003 \text{ м}^3,$
$c = 2 \text{ см}$	0,02 м	
$m = 1,2 \text{ кг}$	1,2 кг	$\rho = \frac{1,2 \text{ кг}}{0,0003 \text{ м}^3} = 4000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$
$\rho \rightarrow ?$... кг/м ³	Ответ: $\rho = 4000 \text{ кг/м}^3.$

34. Масса алюминиевой детали 300 г, ее объем 150 см³. Есть ли в этой детали пустоты?

35. Какую массу имеет мед, занимающий банку вместимостью 0,5 л?

36. Какую массу имеет чистая вода, если она занимает объем 1,5 л?

37. Определите массу медного провода длиной $l = 10 \text{ м}$ и площадью поперечного сечения $S = 2 \text{ мм}^2$.

38. В аквариум длиной 40 см и шириной 20 см налита вода до высоты 35 см. Определите массу налитой воды.

39. Какой объем занимают 272 г ртути?

40. Стальная деталь машины имеет массу 3,9 кг. Определите объем детали.

41. При изготовлении электрической лампы из нее откачивали воздух так, что масса оставшегося в лампе воздуха стала в 8 миллионов раз меньше первоначальной. Как при этом изменилась плотность воздуха в лампе?

42. В результате перемещения поршня объем воздуха в цилиндре увеличился в 1,5 раза. Как при этом изменилась плотность воздуха в цилиндре?

43. Машина рассчитана на перевозку груза массой 3 т. Сколько листов железа можно нагрузить на нее, если длина каждого листа 2 м, ширина 80 см, а толщина 2 мм?

44. Масса пустой бутылки $m = 460 \text{ г}$. Масса этой же бутылки, наполненной водой, $m_1 = 960 \text{ г}$, а наполненной подсолнечным маслом — $m_2 = 920 \text{ г}$. Определите по этим данным плотность подсолнечного масла. Плотность воды считать равной 1 г/см³.

45. Масса яблока $m = 40 \text{ г}$. С какой силой оно притягивается Землей?

46. На дереве висит груша массой 50 г. Чему равна сила тяжести, действующая на нее?

47. Чему равна жесткость пружины, если под действием силы 2 Н она растянулась на 4 см?

48. На сколько сантиметров растянется пружина жесткостью 105 Н/м под действием силы 21 Н?

49. К вертикально расположенной пружине жесткостью 80 Н/м подвесили груз массой 400 г. На сколько сантиметров растянулась при этом пружина?

Дано:	СИ
$k = 80 \text{ Н/м}$	80 Н/м
$m = 400 \text{ г}$	0,4 кг
$x = ?$... м

Решение:

На груз, прикрепленный к пружине, действуют две силы: сила тяжести и сила упругости. В состоянии равновесия эти силы уравновешиваются друг друга. Поэтому мы можем записать:

$$\begin{aligned}F_{\text{упр}} &= F_{\tau}, \\kx &= mg, \\x &= \frac{mg}{k}, \\x &= \frac{0,4 \cdot 10}{80} \text{ м} = 0,05 \text{ м}.\end{aligned}$$

Ответ: $x = 5 \text{ см}$.

50. К вертикально расположенной пружине жесткостью 120 Н/м прикрепили груз. Под действием этого груза пружина растянулась на 2 см. Чему равна масса груза?

51. На рисунке 142 изображен динамометр с грузом. Определите цену деления динамометра. Чему равны сила тяжести груза и его вес?

52. На рисунке 143 изображен динамометр с грузом. Определите цену деления динамометра. Чему равны сила тяжести груза и его вес?

53. Девочка купила 0,75 л подсолнечного масла. Определите вес этого масла. Плотность масла 930 кг/м^3 .

54. Самая крупная в мире птица — африканский страус: его масса достигает 90 кг. Определите вес страуса и срав-

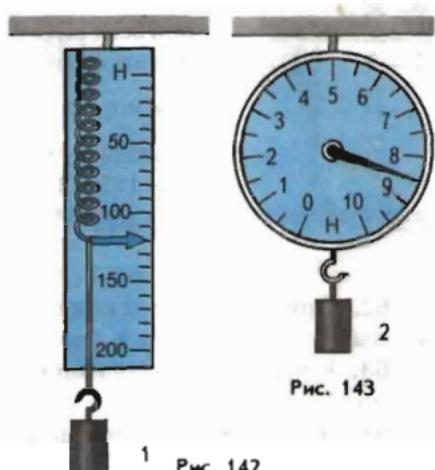


Рис. 143

Рис. 142

ните его с весом самой маленькой птицы — колибри, масса которой 2 г.

55. На деревянной доске лежит деревянный бруск массой 50 г. Удастся ли его сдвинуть с места, приложив к нему в горизонтальном направлении силу, равную 0,25 Н?

56. Какую наименьшую силу следует приложить к стальному бруски массой 1 кг, находящемуся на горизонтальной деревянной поверхности, чтобы сдвинуть его с места? Максимальная сила трения покоя стали по дереву составляет примерно 0,55 от веса бруска.

Глава 3

57. Какую работу совершает сила трения, действующая на ящик, при его перемещении на 40 см? Сила трения равна 5 Н.

58. Груз поднимают вертикально вверх, прикладывая силу 20 Н. Какую работу совершает эта сила, если высота, на которую поднимают груз, составляет 2 м?

59. Мяч массой 50 г брошен вертикально вверх. Какую работу совершил сила тяжести мяча при его подъеме до высоты 3 м?

60. Камень массой 800 г падает на землю с высоты 4 м. Какую работу при этом совершает сила тяжести?

61. Найдите работу, которую необходимо совершить для равномерного подъема гранитной плиты объемом 0,5 м³ на высоту 20 м. Плотность гранита 2500 кг/м³.

Дано:

$$V = 0,5 \text{ м}^3$$

$$s = 20 \text{ м}$$

$$\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$$

$$A = ?$$

Решение:

$$A = Fs,$$

где F — сила, прикладываемая к плите при ее подъеме. Если подъем равномерный, то эта сила равна силе тяжести:

$$F = mg, m = \rho V,$$

$$m = 2500 \cdot 0,5 \text{ кг} = 1250 \text{ кг},$$

$$F = 1250 \cdot 10 \text{ Н} = 12500 \text{ Н},$$

$$A = 12500 \cdot 20 \text{ Дж} = 250000 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = 250 \text{ кДж}$.

62. При помощи подъемного края подняли груз массой 2,5 т на высоту 12 м. Какая работа при этом была совершена?

63. Какую работу совершает двигатель мощностью 100 кВт за 20 мин?

64. Чему равна мощность двигателя, если за 10 мин он совершает работу 7,2 МДж?

65. Какую мощность должен иметь двигатель транспортера, чтобы за 1 ч с его помощью можно было поднять 30 м³ песка на высоту 6 м? Плотность песка 1500 кг/м³.

Дано:

$$t = 1 \text{ ч}$$

$$V = 30 \text{ м}^3$$

$$s = 6 \text{ м}$$

$$\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$$

$$N = ?$$

СИ

$$3600 \text{ с}$$

$$30 \text{ м}^3$$

$$6 \text{ м}$$

$$1500 \text{ кг/м}^3$$

$$\dots \text{ Вт}$$

Решение:

$$N = \frac{A}{t}, A = Fs, F = mg,$$

$$m = \rho V,$$

$$m = 1500 \cdot 30 \text{ кг} = 45000 \text{ кг},$$

$$F = 45000 \cdot 10 \text{ Н} = 450000 \text{ Н},$$

$$A = 450000 \cdot 6 \text{ Дж} =$$

$$= 2700000 \text{ Дж},$$

$$N = \frac{2700000 \text{ Дж}}{3600 \text{ с}} = 750 \text{ Вт}.$$

Ответ: $N = 750 \text{ Вт}$.

66. Штангист поднял штангу массой 125 кг на высоту 70 см за 0,3 с. Какую среднюю мощность развил спортсмен при этом?

67. На рисунке 144, а изображен находящийся в равновесии рычаг. Останется ли он в равновесии, если к нему подвесить еще два одинаковых груза, как показано на рисунке 144, б?

68. Будет ли находиться в равновесии рычаг, изображенный на рисунке 144, в?

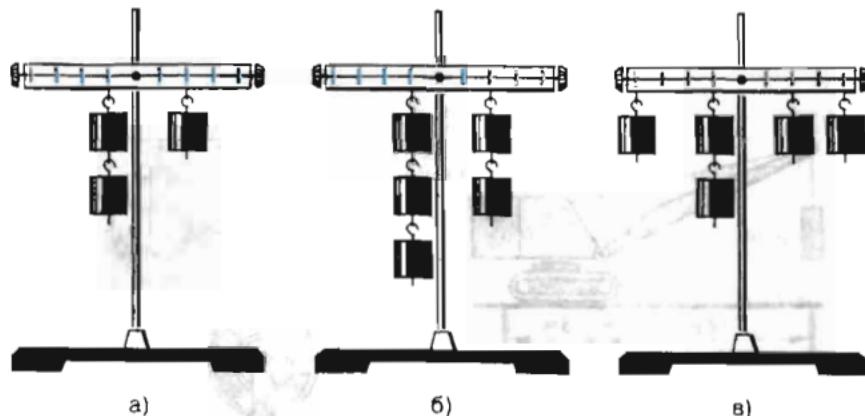


Рис. 144

69. К концам легкого стержня длиной 1 м подвешены грузы. Масса одного из них 120 г. Чему равна масса другого груза, если стержень вместе с грузами уравновешен на опоре, отстоящей от первого груза на 20 см?

Дано:

$$\begin{aligned}l &= 1 \text{ м} \\m_1 &= 120 \text{ г} \\l_1 &= 20 \text{ см} \\m_2 - ?\end{aligned}$$

СИ

$$\begin{aligned}1 \text{ м} \\0,12 \text{ кг} \\0,2 \text{ м} \\... \text{ кг}\end{aligned}$$

Решение:

$$\begin{aligned}F_1 l_1 &= F_2 l_2, \quad F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1, \\l_2 &= l - l_1 = 0,8 \text{ м}, \\F_1 &= m_1 g = 1,2 \text{ Н}, \\F_2 &= \frac{0,2}{0,8} \cdot 1,2 \text{ Н} = 0,3 \text{ Н}, \quad m_2 = \frac{F_2}{g}, \\m_2 &= \frac{0,3}{10} \text{ кг} = 0,03 \text{ кг}.\end{aligned}$$

Ответ: $m_2 = 30 \text{ г}$.

70. На рисунке 145 изображен гусеничный подъемный кран. Какой максимальный груз может поднять этот кран, если масса противовеса 1000 кг?

71. Придумайте конструкцию из одного неподвижного и двух подвижных блоков, дающую выигрыш в силе в 4 раза. Сделайте соответствующий рисунок.

72. Ведра с водой уравновешены на блоках, как показано на рисунке 146. В каком из этих ведер больше воды? В какую сторону двигались бы эти ведра, если бы в них находилось одинаковое количество воды?

73. В стогометателе сноп сена массой 200 кг поднимают с помощью подвижного блока. Какая сила прилагается к противоположному концу подъемного троса? Сколько метров троса наматывается на барабан при подъеме сена на высоту 7,5 м?

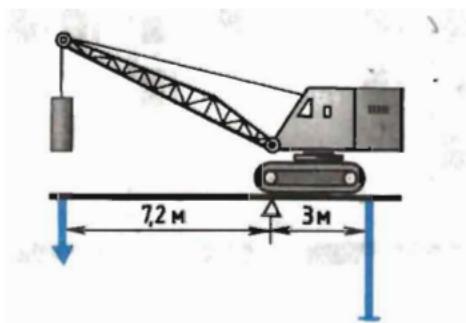


Рис. 145



Рис. 146



Рис. 147

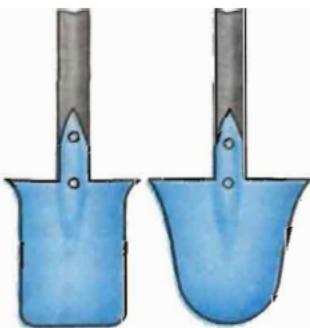


Рис. 148

74. С помощью подвижного блока человек поднял груз на высоту 1,5 м. На какую длину человек при этом вытянул веревку?

75. При подъеме груза массой 20 кг на высоту 4 м была совершена работа 900 Дж. Чему равен КПД используемого механизма?

76. Определите работу, которую нужно совершить с помощью механизма, если его КПД 80%, а полезная работа должна составлять 1,2 кДж.

Глава 4

77. На чем основан способ спасения человека, провалившегося под лед, изображенный на рисунке 147?

78. Два человека вскапывают землю лопатами разной формы (рис. 148). Какой лопатой легче копать?

79. На полу стоит мальчик массой 45 кг. Какое давление он производит на пол, если общая площадь подошв обоих его ботинок, соприкасающихся с полом, равна 300 см^2 ?

80. Гусеничный трактор массой 6610 кг имеет опорную площадь обеих гусениц $1,4 \text{ м}^2$. Определите давление этого трактора на почву. Во сколько раз оно больше давления, производимого на пол мальчиком, о котором говорилось в предыдущей задаче?

81. Человек нажимает на лопату с силой 600 Н. Какое давление оказывает лопата на почву, если ширина ее лезвия 20 см, а толщина режущего края 0,5 мм?

Дано:		СИ	Решение:
$F = 600 \text{ Н}$		600 Н	$p = \frac{F}{S}$,
$a = 20 \text{ см}$		0,2 м	$S = ab$,
$b = 0,5 \text{ мм}$		0,0005 м	$S = 0,2 \cdot 0,0005 \text{ м}^2 = 0,0001 \text{ м}^2$,
$p = ?$... Па	$p = \frac{600 \text{ Н}}{0,0001 \text{ м}^2} = 6\,000\,000 \text{ Па}$.

Ответ: $p = 6 \text{ МПа}$.

82. Девочка массой 45 кг стоит на лыжах. Длина каждой лыжи 1,5 м, ширина 10 см. Какое давление оказывает девочка на снег? Сравните его с давлением, рассчитанным в задаче 79.

83. Стоя на поверхности Луны, американский астронавт оказывал на лунный грунт давление, равное 21,3 кПа. Определите массу астронавта (со снаряжением), если от его ботинок остались следы, площадь каждого из которых 410 см^2 .

84. С какой силой оса вонзает свое жало в кожу человека, если площадь острия жала $0,00000000003 \text{ см}^2$, а производимое им давление составляет $3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$?

85. Определите давление нефти на дно цистерны, если высота столба нефти 10 м, а ее плотность $800 \text{ кг}/\text{м}^3$.

86. Вычислите давление воды на дно Марианской впадины, глубина которой 11 022 м. Плотность воды считать равной $1030 \text{ кг}/\text{м}^3$.

87. В бочке с водой на расстоянии 40 см от ее верха имеется отверстие, закрытое пробкой. Площадь отверстия 1 см^2 . Чему равна сила давления воды на пробку?

88. В цистерне, заполненной нефтью, на глубине 4 м установлен кран. Площадь сечения крана 30 см^2 . С какой силой нефть давит на кран?

89. Бак, имеющий форму параллелепипеда длиной 1,2 м, шириной 70 см и высотой 50 см, наполнили керосином. Определите давление и силу давления керосина на дно бака. Каково давление керосина на стенки бака на глубине 40 см?

90. В аквариум длиной 30 см и шириной 20 см налила воду до высоты 25 см. Определите давление и силу давления воды на дно аквариума.

91. В сообщающихся сосудах находится вода и керосин (см. рис. 107). Чему равна высота столба керосина, если высота столба воды равна 8 см?

92. Когда в сообщающихся сосудах (см. рис. 107) керосин заменили другой жидкостью, то при высоте столба воды 4,5 см высота

столба другой жидкости оказалась равной 5 см. Какой жидкостью заменили керосин?

93. Выразите в паскалях следующие давления: 1 мм рт. ст.; 750 мм рт. ст.

94. Выразите в мм рт. ст. следующие давления: 1 Па; 100 кПа.

95. На рисунке 119 изображен водяной барометр Паскаля. Чему равна высота столба воды в этом барометре при нормальном атмосферном давлении?

96. На рисунке 120 изображен опыт с «магдебургскими полушариями». С какой примерно силой воздух прижимал одно полушарие к другому, если площадь поверхности полушария $0,28 \text{ м}^2$? Атмосферное давление считать нормальным.

97. У подножия горы барометр показывает давление 760 мм рт. ст., а на ее вершине — 722 мм рт. ст. Какова примерно высота горы?

98. Вычислите примерную высоту телевизионной башни в Останкино. Атмосферное давление у ее подножия и у вершины определите по рисунку 149.

99. Вес тела в воздухе 20 Н. Определите вес этого тела в масле, если в масле на него действует выталкивающая сила 5 Н.

100. В воздухе тело весит 35 Н, а в керосине — 30 Н. Чему равна архimedова сила, действующая на это тело в керосине?

101. На рисунке 150 изображено одно и то же тело, плавающее в двух разных жидкостях. Плотность какой жидкости больше? Почему?



Рис. 149

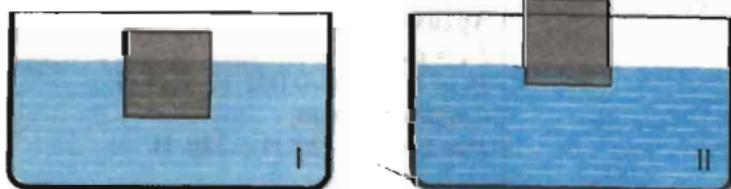


Рис. 150

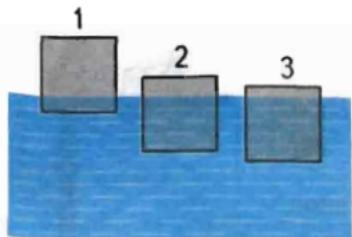


Рис. 151

102. На рисунке 151 изображены три бруска, плавающие в пресной воде. Определите, какой из этих брусков изготовлен из пробки, какой — из льда, какой — из дерева. Ответ обоснуйте.

103. Тело плавает в пресной воде, полностью погрузившись в нее. Как будет вести себя это тело в керосине? в соленой воде? в спирте?

104. Поплавок изготовлен из древесины, плотность которой в 2 раза меньше плотности воды. Как будет располагаться поплавок в воде? Сделайте рисунок.

105. Что больше весит в воздухе: тонна дерева или тонна железа? Почему?

106. Массы кирпича и куска железа одинаковы. Какое из этих тел легче удержать в воде? Почему?

107. Определите выталкивающую силу, действующую на камень объемом $1,6 \text{ м}^3$ в морской воде.

108. Чему равна архимедова сила, действующая в стакане с водой на кусочек железа объемом 1 см^3 ?

109. Тело объемом $0,6 \text{ м}^3$ плавает на поверхности воды. Какой объем имеет та часть этого тела, которая выступает над водой, если действующая на него архимедова сила равна 5 кН ?

110. Тело объемом $0,4 \text{ м}^3$ плавает на поверхности воды. Чему равна действующая на него выталкивающая сила, если над поверхностью воды выступает $0,1 \text{ м}^3$ этого тела?

111. Сколько весит в воде чугунная гиря объемом $0,002 \text{ м}^3$? Плотность чугуна $7000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Дано:

$$V = 0,002 \text{ м}^3$$

$$\rho = 7000 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$P = ?$$

Решение:

Вес тела в воде

$$P = P_0 - F_A.$$

Вес тела в воздухе

$$P_0 = mg = \rho V g,$$

$$P_0 = 7000 \cdot 0,002 \cdot 10 \text{ Н} = 140 \text{ Н.}$$

Архимедова сила

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V,$$

$$F_A = 1000 \cdot 10 \cdot 0,002 \text{ Н} = 20 \text{ Н.}$$

Следовательно,

$$P = 140 \text{ Н} - 20 \text{ Н} = 120 \text{ Н.}$$

Ответ: $P = 120 \text{ Н.}$

112. Сколько весит в ртути золотое изделие массой 193 г? Плотности ртути и золота равны соответственно $13\,600 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $19\,300 \text{ кг}/\text{м}^3$.

113. Тело имеет массу 130 кг и объем 0,2 м³. Будет ли оно плавать в воде?

114. Тело имеет массу 80 кг и объем 0,1 м³. Будет ли оно плавать в бензине?

115. В море плавает ледяной айсберг. Какая часть объема айсберга находится под водой? Плотности льда и морской воды равны соответственно $900 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $1030 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Дано:

$$\rho = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\rho_* = 1030 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\frac{V_*}{V} = ?$$

Решение:

Запишем условие плавания айсберга в форме уравнения (48.4):

$$\rho V = \rho_* V_*$$

Отсюда

$$\frac{V_*}{V} = \frac{\rho}{\rho_*},$$

$$\frac{V_*}{V} = \frac{900}{1030} = 0,87.$$

Ответ: $V_*/V = 0,87$ (т. е. 87%).

116. Кусок пробки плавает в баке с керосином. Какая часть объема пробки погружена в керосин?

117. Кусок угля в воде весит 10 Н, а в керосине — 12,5 Н. Определите по этим данным плотность угля.

118. Цепь выдерживает нагрузку 85 кН. Можно ли на этой цепи удержать гранитную плиту объемом 4 м³: а) в воздухе; б) под водой? Плотность гранита $3000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

119. Воздушный шар имеет объем 1600 м³. Какая подъемная сила действует на шар в воздухе плотностью $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ (такую плотность воздух имеет на высоте 200 м), если сила тяжести, действующая на шар, равна 4500 Н?

120. Определите подъемную силу, действующую на шар-зонд, находящийся на высоте 10 км, если сила тяжести, действующая на него, равна 20 Н. Плотность воздуха на данной высоте $0,41 \text{ кг}/\text{м}^3$. Объем шара 20 м³.



ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа 1

Измерение объема жидкости с помощью измерительного цилиндра

Оборудование: измерительный цилиндр (или мензурка), стакан с водой.

Указания к выполнению работы

1. Рассмотрите измерительный цилиндр. Обратите внимание на его деления и применяемую в нем единицу объема.

2. Перелейте воду из стакана в измерительный цилиндр.

3. Изобразите на рисунке в тетради часть измерительного цилиндра с налитой в него водой (типа рис. 152). При определении положения уровня воды следует направлять на то деление, которое совпадает с плоской частью поверхности воды (а не с ее изогнутым краем).

4. Определите цену деления измерительного цилиндра. Для этого воспользуйтесь правилом, сформулированным в § 4:

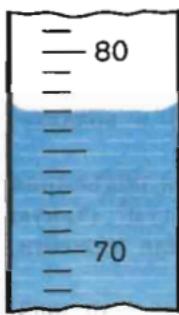


Рис. 152

$$\text{цена деления} = \frac{\dots - \dots}{\dots} = \dots \text{ мл.}$$

5. Зная цену деления, определите объем воды, находящейся в цилиндре:

$$V = \dots + \dots = \dots \text{ мл.}$$

6. Выразите результат измерений в кубических сантиметрах и кубических метрах.

Лабораторная работа 2

Измерение массы тела на рычажных весах

Оборудование: весы с гирами, несколько небольших тел разной массы (по выбору учащихся).

Указания к выполнению работы

1. Если весы не уравновешены, добейтесь их равновесия, положив на более легкую чашу весов несколько кусочков бумаги или картона.

2. Поместите на левую чашу весов взвешиваемый предмет (класть его нужно осторожно, придерживая чаши весов рукой).

3. Откройте футляр с гирами и, достав ту, что, на ваш взгляд, тяжелее предмета, положите ее на правую чашу. Убедившись, что она перетягивает, поставьте ее обратно в футляр, а на чашу положите другую гирю (меньшей массы). Если она тоже перетянет, то замените ее следующей гирей, если же нет — оставьте на правой чаше. Перебирая таким образом гирю за гирей, добейтесь равновесия весов. Мелкие гирьки (от 500 до 10 мг) доставайте из футляра с помощью пинцета.

4. Заполните таблицу.

Взвешиваемый предмет	Гири, которыми был уравновешен предмет	Масса предмета в граммах

Во второй колонке этой таблицы должны быть перечислены все гири, оказавшиеся на правой чаше весов после достижения равновесия. Определив их общую массу, запишите результат в третью колонку.

5. Придерживая чаши весов, снимите с них все гири и положите их обратно в футляр.

6. Замените предмет на левой чаше весов новым и повторите всю процедуру взвешивания заново. Полученные результаты занесите в таблицу.

Лабораторная работа 3

Измерение плотности твердого тела

Оборудование: весы с гилями, измерительный цилиндр с водой, твердое тело на нити.

Указания к выполнению работы

1. Измерьте массу тела (m) на рычажных весах (см. лабораторную работу 2).
2. Определите цену деления измерительного цилиндра.
3. Измерьте объем воды в цилиндре (V_1).
4. Удерживая тело за нить, опустите его в воду. Измерьте объем воды вместе с погруженным в нее телом (V_2).
5. Определите объем тела (V).
6. Зная массу и объем тела, рассчитайте его плотность (ρ).
7. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

$m, \text{ г}$	$V_1, \text{ см}^3$	$V_2, \text{ см}^3$	$V, \text{ см}^3$	$\rho, \text{ г/см}^3$

Лабораторная работа 4

Измерение силы с помощью динамометра

Оборудование: динамометр, деревянный брусок, набор грузов, деревянная дощечка, катки (круглые карандаши).

Указания к выполнению работы

1. Прикрепив к вертикально расположенному динамометру деревянный брусок, измерьте силу тяжести тела (F_t) и его вес (P_0).
2. Измерьте общий вес бруска с прикрепленным к нему грузом (P).
3. Положите на деревянную дощечку брусок, а на брусок — груз. Прикрепив к брускам динамометр, перемещайте его с постоянной скоростью вдоль дощечки (рис. 153). Измерьте силу трения скольжения, действующую на брусков (F_{tr}), и сравните ее с весом P .



Рис. 153

4. Используя динамометр, измерьте максимальную силу трения покоя (F_{tp_0}), возникающую при попытке сдвинуть с места нагруженный брускок. Сравните эту силу с силой трения скольжения.

5. Поместив нагруженный брускок на два катка, убедитесь, что сила трения качения меньше измеренной ранее силы трения скольжения.

Лабораторная работа 5

Выяснение условия равновесия рычага

Оборудование: рычаг на штативе, набор грузов, линейка (рис. 154).

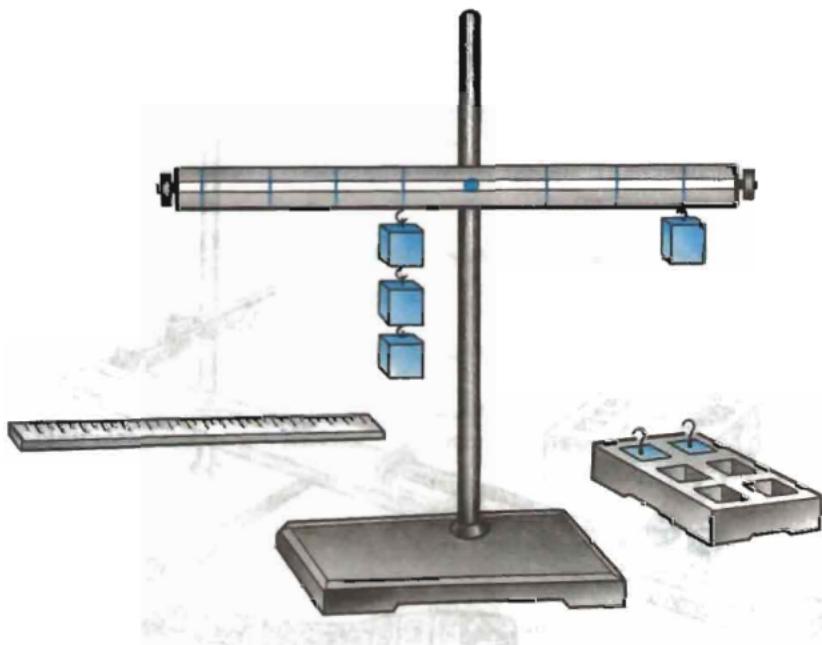


Рис. 154

Указания к выполнению работы

1. Путем вращения гаек на концах рычага уравновесьте его так, чтобы он расположился горизонтально.
2. Подвесьте два груза к левому плечу рычага на расстоянии $l_1 = 18$ см от оси вращения.
3. Путем проб установите место на правом плече рычага, к которому следует подвесить три груза, чтобы уравновесить два предыдущих. Измерьте расстояние от этого места до оси вращения (l_2).
4. Считая, что каждый груз весит 1 Н, заполните пустые места таблицы.

l_1 , м	F_1 , Н	l_2 , м	F_2 , Н	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м
		:			

5. Сделайте вывод о справедливости правила моментов.

Лабораторная работа 6

Определение КПД наклонной плоскости

Оборудование: динамометр, дощечка, штатив, деревянный брускок, измерительная лента (или линейка), набор грузов (рис. 155).

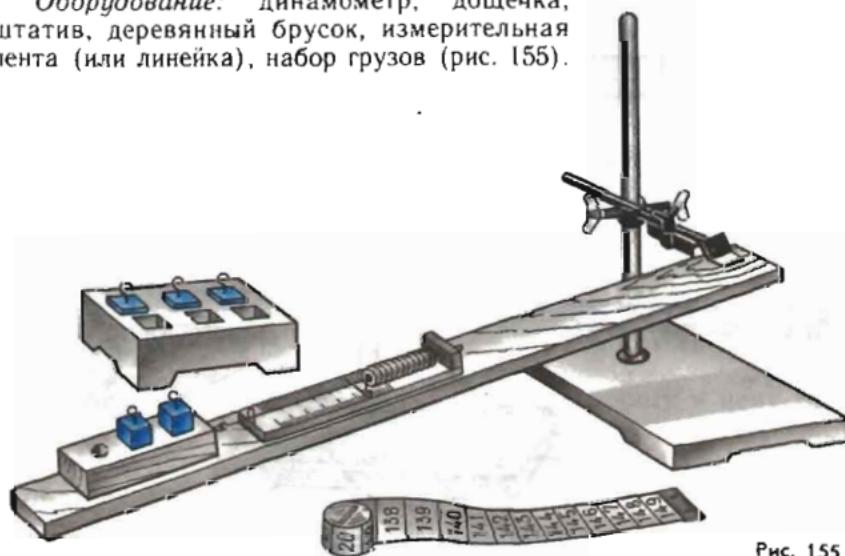


Рис. 155

Указания к выполнению работы

- Используя динамометр, определите общий вес бруска вместе с двумя грузами (P).
- Установите дощечку в наклонном положении, закрепив ее верхний край в лапке штатива.
- Нагрузив брусков двумя грузами и прикрепив к нему динамометр, перемещайте брусков с постоянной скоростью вверх по наклонной плоскости. Измерьте необходимую для этого силу тяги (F).
- С помощью измерительной ленты определите путь s , пройденный нижним краем груза, и высоту h , на которую он был поднят.
- Вычислите полезную и затраченную работы:

$$A_s = Fs, \quad A_{\text{н}} = Ph.$$

6. Найдите КПД наклонной плоскости.

7. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

$P, \text{Н}$	$h, \text{м}$	$A_{\text{н}}, \text{Дж}$	$F, \text{Н}$	$s, \text{м}$	$A_s, \text{Дж}$	η

Лабораторная работа 7

Определение размеров малых тел

Оборудование: линейка, пшено, книга, тонкая проволока, круглый карандаш.

Указания к выполнению работы

- Расположите вплотную вдоль линейки $n=40$ крупинок пшена. Измерьте длину ряда l и вычислите диаметр d одной крупинки:

$$d = \frac{l}{n}.$$

- Определите аналогичным способом толщину листа книги. Для этого плотно сожмите книгу и измерьте ее толщину l (без учета обложки). Разделив толщину l на число листов в книге n , найдите толщину одного листа d .

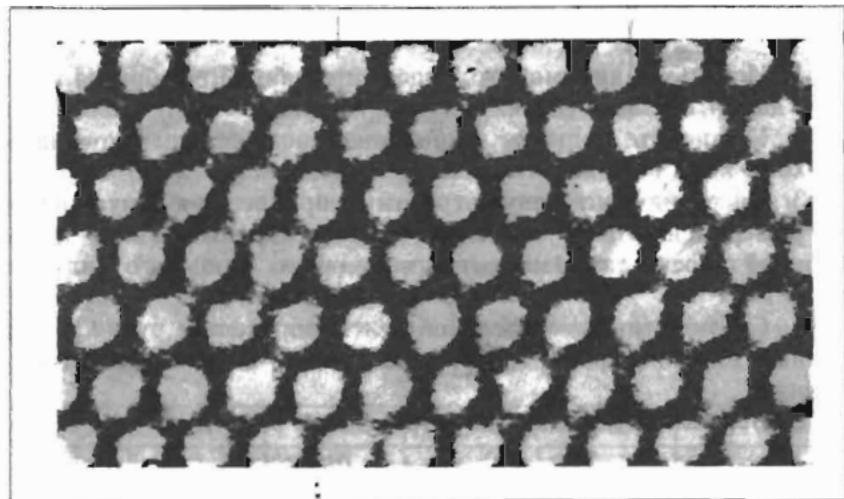


Рис. 156

3. Определите диаметр тонкой проволоки. Для этого намотайте на карандаш вплотную 50 витков проволоки и измерьте длину навивки l .

4. Используя фотографию атомов золота, полученную с помощью электронного микроскопа (рис. 156), определите диаметр одного атома.

5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Малые тела	l , см	n	d , см
1. Пшено			
2. Листы бумаги			
3. Витки проволоки			
4. Атомы золота			

Лабораторная работа 8

Измерение выталкивающей (архимедовой) силы

Оборудование: динамометр, измерительный цилиндр с водой, твердое тело (латунный цилиндр).

Указания к выполнению работы

1. Измерьте с помощью динамометра вес тела в воздухе (P_0).
2. Погрузив тело в измерительный цилиндр с водой, измерьте вес тела в жидкости (P).
3. Определите выталкивающую силу, действующую на тело в воде.
4. Повторите опыт, погрузив тело в воду наполовину. Снова определите выталкивающую силу.
5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

N	P , Н	P , Н	F_A , Н
1			
2			

6. Сделайте вывод о зависимости архимедовой силы от объема вытесненной телом жидкости.

ОТВЕТЫ

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 13. В 3 раза. | 70. 416 кг. |
| 14. В 1,55 раза. | 73. 1 кН; 15 м. |
| 16. 11,1 м/с. | 75. 89%. |
| 17. 2340 км. | 76. 1,5 кДж. |
| 18. 200 м. | 79. 15 кПа. |
| 19. 8,3 мин. | 80. 47,2 кПа. |
| 20. 500 с. | 82. 1,5 кПа. |
| 22. 4,8 м/с. | 83. 175 кг. |
| 35. 675 г. | 84. 9 мкН. |
| 36. 1,5 кг. | 85. 80 кПа. |
| 37. 178 г. | 86. 113,5 МПа. |
| 38. 28 кг. | 87. 0,4 Н. |
| 39. 20 см ³ . | 88. 96 Н. |
| 40. 500 см ³ . | 89. 4 кПа; 3,36 кН; 3,2 кПа. |
| 43. 120. | 90. 2,5 кПа; 150 Н. |
| 44. 0,92 г/см ³ . | 91. 10 см. |
| 45. 0,4 Н. | 95. 10,3 м. |
| 46. 0,5 Н. | 96. 28,4 кН. |
| 47. 50 Н/м. | 97. 456 м. |
| 48. 20 см. | 98. 540 м. |
| 50. 240 г. | 99. 15 Н. |
| 53. 7 Н. | 100. 5 Н. |
| 56. 5,4 Н. | 105. Тонна железа. |
| 57. — 2 Дж. | 107. ≈ 16 кН. |
| 58. 40 Дж. | 108. 10 мН. |
| 59. — 1,5 Дж. | 109. 0,1 м ³ . |
| 60. 32 Дж. | 110. 3 кН. |
| 62. 300 кДж. | 116. 0,3. |
| 63. 120 МДж. | 117. 1800 кг/м ³ . |
| 64. 12 кВт. | 119. 14,7 кН. |
| 66. 2,9 кВт. | 120. 62 Н. |

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Что изучает физика	3
§ 2. Некоторые физические термины	5
§ 3. Наблюдения и опыты	6
§ 4. Физические величины и их измерение	7
Кроссворд «Повторим пройденное — 1»	10

ГЛАВА 2. ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

§ 5. Механическое движение	11
§ 6. Скорость	14
§ 7. Инерция	17
§ 8. Взаимодействие тел. Масса	22
§ 9. Плотность вещества	25
§ 10. Расчет массы и объема тела	28
§ 11. Сила	30
§ 12. Сила тяжести	31
§ 13. Равнодействующая сила	34
§ 14. Сила упругости. Закон Гука	35
§ 15. Динамометр. Вес тела	38
§ 16. Сила трения	41
§ 17. Трение в природе и технике	44
Кроссворд «Повторим пройденное — 2»	46

ГЛАВА 3. РАБОТА И МОЩНОСТЬ

§ 18. Механическая работа	47
§ 19. Мощность	49
§ 20. Рычаг	50
§ 21. Правило моментов	53
§ 22. Блок	55
§ 23. Другие механизмы	57
§ 24. Коэффициент полезного действия	60
Кроссворд «Повторим пройденное — 3»	62

ГЛАВА 4. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 25. Строение вещества	63
§ 26. Молекулы и атомы	66
§ 27. Диффузия	69
§ 28. Взаимодействие молекул	71
§ 29. Смачивание и капиллярность	72
§ 30. Агрегатные состояния вещества	75
§ 31. Строение твердых, жидких и газообразных тел	77
Кроссворд «Повторим пройденное — 4»	80

ГЛАВА 5. ДАВЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

§ 32. Давление и сила давления	81
§ 33. Давление в природе и технике	83
§ 34. Давление газа	85
§ 35. Применение сжатого воздуха	88
§ 36. Закон Паскаля	90
§ 37. Гидростатическое давление	92
§ 38. Давление на дне морей и океанов. Исследование морских глубин	94
§ 39. Сообщающиеся сосуды	97
§ 40. Атмосфера и атмосферное давление	101
§ 41. Измерение атмосферного давления. Опыт Торричелли	104
§ 42. Барометр-анероид	108
§ 43. Манометры	109
§ 44. Водопровод. Поршневой жидкостный насос	111
§ 45. Гидравлический пресс	113
§ 46. Действие жидкости и газа на погруженное в них тело	116
§ 47. Закон Архимеда	119
§ 48. Плавание тел	122
§ 49. Плавание животных и человека	124
§ 50. Плавание судов	126
§ 51. Воздухоплавание	130
Кроссворд «Повторим пройденное -- 5»	134
Задачи и упражнения	135
Лабораторные работы	148
Ответы	156

Учебное издание
Громов Сергей Васильевич
Родина Надежда Александровна

ФИЗИКА

Учебник для 7 класса
общеобразовательных учреждений

— Зав. редакцией Г. Н. Федина
Редактор Т. П. Каткова
Художники: С. Ф. Лухин, В. А. Сайчук
Художественный редактор В. Н. Алексеев
Технический редактор Г. В. Субочева
Корректоры Н. В. Белозерова, И. В. Чернова

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93 — 953000. Изд. лиц. № 010001 от 10.10.96. Подписано к печати с диапозитов 09.11.2000. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10+0,25 форзац. Усл. кр.-отт. 21,5. Уч.-изд. л. 8,51+ +0,42 форзац. Тираж 200 000 экз. Заказ № 1492 (к-р).

Государственное унитарное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Издательство «Просвещение» Министерства Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Государственное унитарное предприятие Смоленский полиграфический комбинат Министерства Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. 214020, Смоленск, ул. Смольянинова, 1.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«Просвещение»

Книги, которые нужны всегда!

МЫ ПРЕДЛАГАЕМ:

книги крупным и мелким оптом
со складов издательства;
контейнерную отгрузку во все регионы России
и страны СНГ;

Книгу—почтой:

127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41,
издательство «Просвещение», «Книга—почтой».
Телефон: 289 50 26

E-mail: prosv@online.ru

<http://www.prosv.ru>

Информационный центр учебного книгоиздания:
<http://www.bookstore.tversu.ru/>



ПРОЕЗД: ст. метро «Белорусская»,
далее трол. 18 до ост.
«Гостиница «Северная»»,
авт. 12 до ост. «1-й Стрелечий пер.»

ст. метро «Рижская»,
далее трол. 18, 42, авт. 84
до ост. «Гостиница «Северная».

Нашу литературу оптом
и в розницу
можно приобрести
в магазине
«Книги «Просвещения»

127521, Москва,
ул. Октябрьская, 89
Телефоны: (095) 289 44 44,
289 60 44
Факс: (095) 289 60 26, 289 62 35

Торговый дом «Просвещение»:
129626, Москва,
ул. Новоалексеевская, 8.
Тел./факс: (095) 287 08 69

Торговый дом «Просвещение»:
193024, Санкт-Петербург,
ул. Тележная, 17, офис 3, 4.
Тел.: (812) 275 35 11
Факс: (812) 275 31 12



ФИЗИКА 7

Новый учебник **"Физика-7"**
авторов

С.В.Громова и Н.А.Родиной

создан на основе
стабильного учебника по курсу
физики 7 класса в соответствии
с новой программой
для 7-9 классов основной школы.

Учебник включен в Перечень
учебников и учебных пособий,
рекомендованных Министерством
образования РФ.

ISBN 5-09-010349-6



9 785090 103497