

Федеральный государственный образовательный стандарт  
Образовательная система «Школа 2100»

С.М. Андриюшечкин

# ФИЗИКА

7 класс



МОСКВА

**БАУСС**

2015

УДК 373.167.1:53

ББК 22.3я721

А65

Федеральный государственный образовательный стандарт  
Образовательная система «Школа 2100»



Совет координаторов предметных линий Образовательной системы «Школа 2100» – лауреат премии Правительства РФ в области образования за теоретическую разработку основ образовательной системы нового поколения и её практическую реализацию в учебниках

На учебник получены положительные заключения по результатам научной экспертизы (заключение РАН от 29.09.2011 № 10106-5215/34), педагогической экспертизы (заключение РАН от 10.01.2014 № 000429) и общественной экспертизы (заключение НП «Лига образования» от 30.01.2014 № 202)

Руководитель издательской программы –  
член-корр. РАО, доктор пед. наук, проф. *Р.Н. Бунеев*

А65 Андрюшечкин, С.М.  
**Физика. 7 кл. : учеб. для организаций, осуществляющих образовательную деятельность / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2015. – 240 с. : ил. (Образовательная система «Школа 2100»).**

ISBN 978-5-85939-904-8

Учебник «Физика» для 7 класса соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования. Является составной частью комплекта учебников развивающей Образовательной системы «Школа 2100».

Учебник позволяет организовать изучение курса физики на основе деятельностного подхода, используя в качестве одного из основных методов проблемное обучение.

Может использоваться как учебное пособие.

УДК 373.167.1:53

ББК 22.3я721

Данный учебник в целом и никакая его часть не могут быть скопированы без разрешения владельца авторских прав

ISBN 978-5-85939-904-8

© Андрюшечкин С.М., 2012  
© ООО «Баласс», 2012




## Обращение к ученику

**Зачем мы будем учиться?** Физика – новый для вас учебный предмет. Изучая физику, вы узнаете, как рассчитывать движение пешехода и почему он не сможет двигаться по обледенелой дороге. Почему Земля вращается вокруг Солнца и почему мяч изменяет движение после удара футболиста. Как строили пирамиды и как древнегреческий учёный Архимед один, без посторонней помощи, смог вытащить гружёный корабль на берег. Каково строение различных веществ, в чём сходство и в чём различие между ними. Как действует тормозная система автомобиля, почему взлетают вверх воздушные шары и плавают стальные корабли. Физика как раз и является той наукой, что позволяет правильно ответить на эти и многие другие вопросы.

Теперь у вас появится возможность узнать:

- как устроен окружающий вас мир,
- каким образом учёные изучают природные явления,
- как физические знания используются людьми.

На уроках физики вы можете проявить смекалку, развить свои способности, научиться работать с приборами и решать задачи. Приобретённые на уроках физики знания и умения пригодятся вам и в жизни, и при изучении других наук о природе. Эти умения (они называются универсальными, то есть пригодными для многих целей) у учеников развиваются при выполнении специальных заданий. Такие задания в учебнике обозначены кружками и фоном условных знаков разного цвета. Каждый цвет соответствует определённой группе умений:

-  организовать свои действия: ставить цель, планировать работу, действовать по плану, оценивать результат;
-  работать с информацией: самостоятельно находить, осмысливать и использовать её;
-  общаться и взаимодействовать с другими людьми, понимать других, сотрудничать.

**Как мы будем учиться?** Вы приступаете к изучению физики по учебнику Образовательной системы «Школа 2100». Наша Образовательная система стремится помочь вам научиться:

- *организовывать* свои дела,
- *мыслить*,
- *оценивать* результаты работы.

На уроках, точно так же, как и в жизни, вам придётся сталкиваться с противоречивыми фактами и суждениями, неожиданными результатами опытов и наблюдений. Так возникают *проблемные ситуации*. Чем лучше вы научитесь разбираться в возникающих проблемах, тем успешнее будет ваше обучение.

Но достигнуть успеха в учёбе нельзя, если быть только сторонним наблюдателем и исполнителем. Необходимо ваше постоянное *активное участие в совместной деятельности*, организуемой учителем.

**Что надо обязательно запомнить?** Ни один человек не может знать и запомнить всё. В учебнике приведено много интересных сведений, предложено много заданий, решено много задач. Это максимум, который вы можете изучить и освоить при желании.

Но есть и обязательный **минимум**, который должен освоить каждый.

В тематической тетради, которой вы будете пользоваться совместно с учебником, предложены обязательные (минимум) и дополнительные (максимум) домашние задания, опорные конспекты и справочник по физике (минимум).

**Как работать с учебником и тематической тетрадью?** Учебник «Физика» для 7-го класса предназначен для вдумчивой работы под руководством учителя в течение всего учебного года. В тексте учебника то, на что вам нужно *обратить внимание*, выделено *курсивом*. То, что необходимо обязательно **запомнить** (желательно дословно), выделено **жирным шрифтом**.

Вашей успешной работе помогут:

**Оглавление.** Позволяет ориентироваться во всём учебнике.

**Содержание раздела учебника.** В нём дополнительно указаны названия отдельных частей параграфов. В тексте учебника названия отдельных частей параграфов выделены **цветом**.

**Заключение к разделу учебника.** В нём кратко перечисляются основные физические понятия, изучавшиеся в данном разделе учебника.



**Р. S<sup>1</sup>.** В постскриптурах упоминаются наиболее интересные проблемы, оставшиеся «за горизонтом» при изучении раздела.

**Предметно-именной указатель.** Позволяет быстро найти в учебнике значение того или иного понятия или сведения об учёном.

На переднем фёрзаце<sup>2</sup> учебника приведены планы ответов о физических понятиях. Научитесь работать по этим планам. Вы будете пользоваться ими и в дальнейшем (и не только на уроках физики). На заднем фёрзаце размещены справочные таблицы.

Обязательно обратите внимание на условные обозначения, использованные в учебнике.



– вопрос, на который следует ответить, прежде чем дальше читать текст учебника.



– проблемная ситуация.



– формулировка проблемы.



– работа в группе.



– важнейшие понятия, которые необходимо обязательно знать.



– основные понятия, изученные в параграфе.

**Понятия, набранные жирным шрифтом, необходимо знать и уметь применять (минимум).**

Понятия, набранные обычным шрифтом, относятся к максимуму.





– материал для дополнительного чтения (максимум).

<sup>1</sup> Р. S. – постскриптур (от латинского *post scriptum* – после написанного) – приписка к оконченному и подписанному письму, обыкновенно обозначаемая Р. S.

<sup>2</sup> Фёрзац – двойной лист бумаги, соединяющий книгу с переплётом.

Каждый параграф учебника завершается заданиями, выполнение которых поможет вам лучше освоить изучаемый материал; задания содержатся также и в тематической тетради. Приступая к выполнению задания, обратите внимание на условное обозначение, указывающее на характер задания.

 – репродуктивное задание. Ответ на такое задание можно найти непосредственно в учебнике.

 – продуктивное задание. Ответа на задание в готовом виде нет. Но текст и иллюстрации учебника позволяют «подобрать ключи» к выполнению задания. Такие задания проверяют, можете ли вы применять полученные знания.



– задания с использованием компьютера (информационных технологий).



– самостоятельная исследовательская работа.

**Успехов!**

## Раздел 1. Введение в физику

В этом разделе учебника вы узнаете, что изучает наука физика, что является основой физических знаний. Вы узнаете, что такое физические величины и как проводят их измерения.



Вспомните:

- Какие природные явления вам известны? Перечислите некоторые из них.
- Приходилось ли вам измерять расстояние, площадь, объём, массу, температуру, промежутки времени? Какие приборы вы использовали при проведении таких измерений?
- Какие учёные, изучавшие различные природные явления, вам известны? Каковы их научные заслуги?

### § 1. Что изучает физика

Как возникли научные знания

Что изучает физика

Наблюдения и опыты

Зачем нужны теории

### § 2. Физические величины и их измерения

Что значит «измерить величину»

Измерительные приборы

Погрешность измерения

### § 3. Практическая работа «Измерительные приборы.

Проведение измерений»

Работа с измерительными приборами

Как в физике сравнивают точность измерений

Самое важное в разделе «Введение в физику»

P. S.

## § 1. ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА



Есть у меня шестёрка слуг,  
Проворных, удалых.  
И всё, что вижу я вокруг,  
Всё знаю я от них.  
Они по знаку моему  
Являются в нужде.  
Зовут их: Как и Почему,  
Кто, Что, Когда и Где...

*Д. Р. Киплинг (1865–1936),  
английский писатель*

Вы приступаете к изучению основ новой науки!

Всякий раз первого сентября, приступая к работе в новом учебном году, вы встречаете в расписании школьных занятий названия новых предметов. И, открывая новые учебники, задаёте себе вопрос: «Что нового узнаю, чему научусь, важен ли этот предмет для меня?» Попробуем вместе найти ответы на эти вопросы и выяснить, что изучает наука физика, как учёные-физики добывают новые знания и насколько они важны для нас.

**Как возникли научные знания.** Основы научных знаний возникли в древности и передавались из поколения в поколение. Ведь человек тем и отличается от животных, что обладает знаниями, которые приобретает в процессе обучения, при передаче их от старших поколений. Знания, накопленные в древних цивилизациях Египта, Вавилона, оказались полезными при организации земледелия, измерении земельных участков, составлении календаря. В результате многовековых наблюдений, например, было обнаружено, что солнечные и лунные затмения повторяются с периодом 18 лет 11 дней 8 часов. Возникновение и накопление научных знаний происходило также и в Древнем Китае, Древней Индии. К примеру, в Древнем Китае за несколько веков до нашей эры был изобретён компас, а в Древней Индии разработано учение об окружающем мире. Первоначально научные знания были доступны лишь немногим – служителям религии (жрецам).

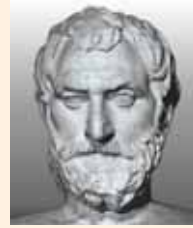
Важнейший вклад в формирование современного научного духа был сделан мыслителями Древней Греции. В городах Древней Греции ведущую роль стало играть стремление людей опираться на собственные силы, на личную инициативу, а это требовало познания природы, окружающего мира. Основное влияние на общество стали оказывать не жрецы, а мыслители, философы. В Вавилоне и Египте знания сообщались людям жрецами, и указания жрецов были неоспоримы,

**Фалес Милетский (около 625 – 547 до нашей эры).**

Главная его заслуга заключается в том, что он одним из первых в истории науки попытался объяснить явления природы, создать теоретические обоснования.

Из высказываний Фалеса:

- «Много слов отнюдь не выражают мудрую мысль»,
- «Учи и учись лучшему».



приравнивались к воле богов. Философам же Древней Греции необходимо было *доказывать, обосновывать* свои суждения. Впервые в истории основой истины стало доказательство, а не авторитет того, кто даёт знание.

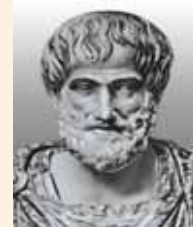
Одним из основоположников древнегреческой науки является Фалес Милетский (около 625 – 547 до нашей эры). Он был одним из первых геометров, до нашего времени одна из доказанных им теорем изучается школьниками. Фалес первый определил, что продолжительность года 365 дней, он предположил, что Луна освещается Солнцем и потому видна. Колоссальное впечатление на греков произвело то, что он, «простой смертный, а не жрец», верно предсказал дату полного солнечного затмения в городе Милете – 28 мая 585 года до нашей эры.

Ещё один выдающийся представитель науки Древней Греции – Аристотель (384 – 322 до нашей эры). Трудно назвать другого учёного, который оказал такое влияние на мировую науку и культуру. Он разработал правила научного мышления, при этом опирался не только на рассуждения, но и на опыт. Аристотель охватил в своих трудах всё множество знаний, накопленных к тому времени человечеством, и систематизировал<sup>1</sup> их. Именно он назвал науку о природе физикой (от греческого «фюзис» – «природа»).

**Аристотель (384–322 до нашей эры).** Выдающийся философ древности, разработал правила научного мышления, методы исследования и доказательства.

Из высказываний Аристотеля:

- «– Что есть друг?
- Одна душа в двух телах»;
- «– Как ученикам преуспеть?
- Догонять тех, кто впереди, и не ждать тех, кто позади».



<sup>1</sup> Систематизировать – привести в определённый порядок, установить взаимосвязи между отдельными частями.

**Что изучает физика.** В окружающем нас мире, как вам известно, постоянно происходят различные явления – Земля движется вокруг Солнца, образуются облака, нагревается работающий двигатель автомобиля, отражается световой луч от зеркала. Всё это примеры *физических явлений*.



1.1. Приведите примеры известных вам физических явлений.

Без изучения физических явлений были бы невозможны успешные старты космических кораблей и полёты самолётов, не изобрели бы компьютеры и радиосвязь, не научились бы плавить сталь и изготавливать стекло, бороться с тяжёлыми болезнями и получать новые сорта растений. Происходящие явления порой бывают опасны (вспомните о землетрясениях, наводнениях, ураганах, сильных морозах, авариях, случающихся из-за неисправности машин или электроприборов). И каждому человеку просто жизненно важно уметь предвидеть и сами явления, и их следствия. А значит, нужно изучать природные (физические) явления, учиться выяснять причины этих явлений, знать, каковы взаимосвязи между явлениями. Необходимо знать открытые учёными законы природы и знать, как эти законы используются в жизни людей, на практике. И именно физика занята изучением различных природных явлений.

Физика – наука о наиболее общих свойствах природы.

Существуют и другие науки, изучающие природу, – астрономия, химия, биология. Во всех этих науках используются физические знания.



Рис. 1

**Наблюдения и опыты.** Физические явления изучают путём наблюдений и опытов. Так, каждый из нас наблюдал смену дня и ночи, падение предметов на Землю, кипение воды при её нагревании. Если же наблюдение специально подготавливается, проводится с определённой целью, по определённой программе, в изменяемых условиях, то тогда это уже *физический опыт (эксперимент)*. Представьте, что вы положили шарик на наклонный жёлоб и наблюдаете, как он катится вниз по жёлобу (рис. 1). Ваше наблюдение станет источником нового для вас физического знания – **тело**<sup>1</sup>, скатываясь по жёлобу, движется всё быстрее и быстрее.

<sup>1</sup> Телом в физике называют любой предмет. Тела состоят из различных **веществ**.

Но если вы проведёте опыт с целью выяснения, как быстрота движения шарика зависит от наклона жёлоба, то добытые вами физические знания будут более обширными.



1.2. Чем наблюдения и опыты отличаются друг от друга?

1.3. Почему эксперименты, как правило, позволяют лучше изучить физическое явление по сравнению с наблюдениями?

**Зачем нужны теории.** Наблюдения и опыт – основа физических знаний. Однако одних наблюдений и опытов недостаточно. Необходимы размышления над результатами наблюдений и опытов с тем, чтобы найти ответы на вопросы, почему происходит то или иное физическое явление, каковы его причины, каким закономерностям оно подчиняется. Итогом таких размышлений учёных являются научные теории. Научные теории важны не только тем, что позволяют объяснить уже известные физические явления, результаты уже проведённых наблюдений и экспериментов. Теории ценны тем, что позволяют учёным предсказать новые физические явления. Так, например, во второй половине XIX века английский учёный Д. К. Максвелл создал теорию электромагнетизма и на её основе предположил существование радиоволн. Предсказанные им радиоволны были обнаружены в ходе специально проведённых экспериментов – тем самым теория электромагнетизма нашла подтверждение в опытах. А благодаря трудам русского учёного А. С. Попова и других изобретателей в повседневную жизнь людей вошли радиосвязь, а затем и телевидение.



1.4. Допустим, каким-нибудь учёным-физиком разработана новая научная теория. Каким образом можно выяснить, правильно ли рассуждал учёный, верна ли созданная им теория?

На основе изучения физических явлений, опираясь на научные теории, разрабатываются новые приборы, машины, механизмы. Так, например, теория тепловых явлений стала научной основой конструирования современных двигателей машин и ракет. Изучение внутреннего строения вещества сделало возможным создание искусственных материалов, которые прочнее стали и твёрже алмаза. А расчёты, производимые учёными на основе законов движения, позволяют осуществлять успешные запуски космических аппаратов. После полёта на расстояния в десятки и сотни миллионов километров они оказываются на других планетах Солнечной системы.



1.5. Наблюдения и опыты – основа физических знаний. А какова роль научных теорий? в чём их важность?

**Физические явления, физика, наблюдение, опыт (эксперимент), научные теории.**

**1.1** ● Найдите в учебнике оглавление. Пользуясь оглавлением, выясните, сколько различных разделов вы будете изучать в школьном курсе физики 7 класса, сколько параграфов содержится в вашем учебнике физики.

**1.2** ● Найдите в учебнике предметно-именной указатель. В предметно-именном указателе в алфавитном порядке расположены фамилии учёных-физиков, упомянутых в учебнике, и наиболее важные слова, без которых не обойтись при изучении физики. Эти специальные слова называют терминами. В предметно-именном указателе рядом с фамилией учёного или термином указан номер страницы учебника, на которой дано



разъяснение термина. Пользуясь предметно-именным указателем, найдите страницы, на которых указаны термины «физика», «эксперимент», «тело», «вещество», и прочитайте о них.

**1.3** ● Продолжите начатое предложение: «Изучение физики важно для каждого человека потому, что...»

**1.4** ● Какие физические явления, по вашему мнению, можно наблюдать, используя установку, изображённую на рисунке 2?



**1.5.** Какие опыты вы предложили бы провести, используя установку, изображённую на рисунке 2? Проведите их. (Вместо пружины можно использовать полоску резины.)

Рис. 2

## § 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЯ



Наука начинается там, где начинают измерять.

*Д. И. Менделеев (1834–1907),  
великий русский учёный*

Вы уже знаете, что физические явления изучают, проводя наблюдения и опыты.

Изучая окружающий мир, исследуя природу, каждый из нас постоянно сталкивается с необходимостью **сравнивать и измерять**. Мы сравниваем, во сколько раз карандаш длиннее мизинца, во сколько раз воды в ведре больше, чем в кастрюле, во сколько раз велосипедист движется быстрее пешехода. Мы сравниваем те или иные свойства тел, сравниваем физические явления, происходящие при разных условиях. Для проведения таких сравнений, получения точных и достоверных знаний о природе необходимы различные *физические величины*. Что же такое физические величины?



Физические величины характеризуют различные физические явления и свойства тел.

Так, физическая величина «температура» характеризует степень нагретости воды, а физическая величина «скорость» – быстроту движения автомобиля.



2.1. Приведите примеры известных вам физических величин.

**Что значит «измерить величину».** Каждая физическая величина имеет собственную определённую **единицу измерения**, с которой и сравнивают значение физической величины при проведении измерения. Например, измеряя массу камня, её сравнивают с единицей массы – килограммом – и определяют, во сколько раз масса камня больше или меньше килограмма. Изменяя время полёта мяча, сравнивают это время с единицей времени – секундой.



2.2. Назовите известные вам единицы измерения физических величин.

2.3. Согласны ли вы с утверждением, что измерить некоторую физическую величину – значит сравнить её с однородной величиной, принятой за единицу этой величины?

Измерения, проведённые учёными, показали, что физические величины имеют самые разные значения. Для примера на рисунке 3 приведена шкала расстояний, встречающихся в природе.

Если принять средний рост ученика за условную единицу длины, то при его уменьшении в сто тысяч раз получим размер бактерии, а при уменьшении ещё в сто тысяч раз – размер атома – мельчайшей частицы вещества. Если же рост ученика увеличить в шесть миллионов раз, то полученное расстояние будет соответствовать протяжённости нашей страны. Увеличение этого расстояния примерно в полтора раза даёт размер Земли.



Рис. 3

Если же размер Земли увеличить в десять тысяч раз, то получим расстояние от Земли до Солнца – 150 млн км. Астрономы называют это расстояние *астрономической единицей* (сокращённо обозначается а. е.). Почти сто астрономических единиц – размер Солнечной системы, а сотни тысяч астрономических единиц – расстояние до звезды, ближайшей к Солнечной системе. Очередное увеличение расстояния в сотни тысяч раз даст нам размер гигантских звёздных скоплений – галактик. В одной из таких галактик находится и наша Солнечная система. При увеличении расстояния ещё в сто раз мы получим расстояние, которое является пределом изученного в нашей Вселенной к настоящему времени.

Сравним теперь временные масштабы различных событий. Так, Солнце – одна из множества звёзд нашей Галактики – возникло 10 миллиардов лет тому назад. Наша планета Земля имеет возраст около 4,5 миллиардов лет, и 2 – 2,5 миллиардов лет тому назад на ней зародилась жизнь. Человек начал выделяться из животного мира около 3 миллионов лет тому назад. Продолжительность года – более 30 миллионов секунд. Примерно одной секунде равно время биения человеческого сердца. Для двигательной реакции рукой или ногой человеку требуется около 0,2 секунды.

**Измерительные приборы.** Для проведения измерения физических величин необходимы различные **измерительные приборы**. Вы уже встречались с такими измерительными приборами, как измерительная линейка, термометр, секундомер, весы. С их помощью измеряют длину, температуру, время, массу. К измерительным приборам относится и измерительный цилиндр – *мензурка* (рис. 4). Деления мензурки даны в кубических сантиметрах или в миллилитрах.

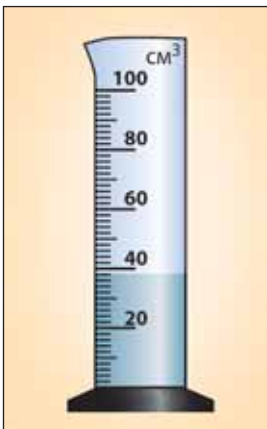


Рис. 4

$$1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3.$$

$$1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3.$$

$$1 \text{ л} = 0,001 \text{ м}^3.$$

Мензурка используется для измерения объёма жидкости и определения объёма тела неправильной формы по поднятию уровня жидкости в мензурке после полного погружения тела в жидкость (рис. 5, а, б).



2.4. Как определить при помощи измерительной линейки объём тела правильной геометрической формы, например спичечного коробка или кирпича?

Обычно у измерительного прибора имеется **шкала**. Рядом с делениями шкалы наносят числовые значения измеряемой величины. Для верного проведения измерений необходимо уметь определять **пределы измерения** и **цену деления** шкалы прибора. *Пределы измерения – это наименьшее и наибольшее значения величины, которые могут быть измерены данным прибором.* Например, на рисунке 6 изображена шкала прибора, пределы измерения которого от 0 до 40 единиц.

*Цена деления шкалы – это разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.*

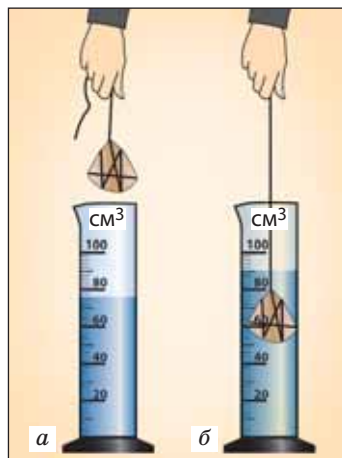


Рис. 5

Для нахождения цены деления необходимо выбрать на шкале два ближайших числовых значения величины. Из большего числового значения нужно вычесть меньшее и полученный результат разделить на число делений шкалы (число промежутков) между выбранными значениями.

Так, цена деления шкалы прибора (рис. 6) равна

$$\frac{40 \text{ ед.} - 30 \text{ ед.}}{5} .$$

Цена деления: 2 ед.

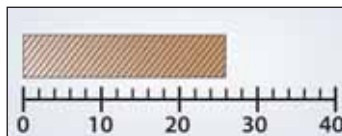


Рис. 6



2.5. Определите пределы измерений и цену деления мензурки, изображённой на рисунке 4.

2.6. С помощью измерительной линейки определите длину ручки, которой вы пишете. Измерили ли вы длину ручки абсолютно точно или с точностью до доли миллиметра?

**Погрешность измерения.** Измеряя ту или иную физическую величину, нельзя провести измерения абсолютно точно. Действительно, если, например, измерять температуру человеческого тела обычным медицинским термометром, то температура будет измерена не точнее, чем до десятой доли градуса – 36,6 °С или 36,7 °С. Проведя измерения более совершенным прибором, можно измерить температуру с точностью до сотой или тысячной доли градуса, но опять-таки не абсолютно точно. Учтём также и то, что сами измерительные приборы не могут быть изготовлены абсолютно точно, будь то простейшая линейка или более сложные приборы.

Рассмотренные нами примеры говорят о том, что **измерение любой физической величины производится с некоторой погрешностью**. Погрешность измерения величины складывается из погрешности измерительного прибора и погрешности проведения самого измерения. В физике, как и в любой другой науке о природе, **не может быть абсолютно точных измерений!** Нужно стремиться не к тому, чтобы провести измерения «абсолютно точно», а к тому, чтобы проделать измерения с возможно меньшей погрешностью.



2.7. На некоторых особо точных приборах указывается, что измерения следует проводить при определённой температуре (обычно 20 °С). С какой целью сделано это указание?

В простейших случаях **погрешность измерения считают равной половине цены деления шкалы прибора**. Так, например, погрешность измерения прибором, шкала которого изображена на рисунке 6, составит

$$\frac{2 \text{ ед.}}{2} = 1 \text{ ед.}$$

**При записи результата измерения необходимо обязательно указывать не только значение измеренной величины, но и погрешность измерения.** В рассматриваемом примере (рис. 6) правильная форма записи результата измерения некоторой величины  $A$  такова:

$$A = (26 \pm 1) \text{ ед.}$$

Такая форма записи означает, что после проведённого измерения по-прежнему не известно точное значение величины  $A$  (не может быть абсолютно точных измерений!), но гарантируется, что измеренная величина имеет значение от 25 до 27 ед.

**Физическая величина, измерение физической величины, пространственные и временные масштабы мира, мензурка, пределы измерения прибора, цена деления шкалы измерительного прибора, погрешность измерения, форма записи результата измерения.**

**2.1** ● Определите пределы измерений, цену деления и погрешность измерения измерительных приборов, которые имеются в вашем распоряжении.

**2.2** ● В медицинской карточке ученика сделаны следующие записи: рост – 146 см, масса – 38 кг. Какие ошибки допущены в записи с точки зрения физики?

**2.3** ● В быту встречаются измерительные приборы, подобные мензурке. С помощью такого прибора измерьте объём некоторых тел.



**2.4.** Изготовьте макет термометра с пределами измерений от – 20 до + 20 °С и ценой деления 2 °С.

**2.5** ● Любую физическую величину можно измерить. А вообще, всё ли в жизни человека, по вашему мнению, поддаётся измерению?

### § 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ»



Всё, что мы знаем о реальности, исходит из опыта и завершается им.

*А. Эйнштейн (1879–1955),  
выдающийся физик-теоретик,  
один из творцов современной науки*

Вы уже знаете, как определяют цену деления измерительного прибора и погрешность измерения.

#### Работа с измерительными приборами.

**Задание 1.** Ознакомьтесь с измерительными приборами, имеющимися на вашем рабочем месте (линейка, измерительная лента, измерительный цилиндр – мензурка, термометр и другие), и определите для каждого из приборов пределы измерения, цену деления, погрешность измерения. Результаты занесите в таблицу:

Название прибора	Физическая величина, измеряемая прибором	Пределы измерения	Цена деления	Погрешность измерения
Линейка				
Измерительная лента				
Измерительный цилиндр – мензурка				
Термометр				

**Задание 2.** Проведите измерения физических величин. Результаты измерений занесите в таблицу:

Что измеряется	Каким прибором измеряется	Единица измерения величины	Значение измеренной величины
Длина парты			
Толщина учебника			
Температура воздуха в учебном кабинете			
Объём воды в стакане			
Вместимость колбы			



**Задание 3.** Измерьте с помощью мензурки объём тела неправильной формы.



**Задание 4.** Используя линейку, определите толщину одной страницы учебника, толщину тонкой проволоки.



**Как в физике сравнивают точность измерений.** В § 2 учебника уже говорилось о том, что никакое измерение физической величины не может быть выполнено абсолютно точно. Ведь любое измерение проводят с помощью измерительного прибора, изготовленного с некоторой погрешностью, да и сам отсчёт измеряемой величины производится по шкале прибора с точностью до половины цены деления шкалы.

А если всякое измерение производится с некоторой погрешностью, то как узнать, какое же из измерений произведено более качественно и является более точным?

Рассмотрим пример. Пусть с помощью измерительной ленты измерена длина стола  $L$  и получен результат:

$$L = (120 \pm 0,5) \text{ см},$$

а при измерении толщины учебника  $d$  результат таков:

$$d = (16 \pm 0,5) \text{ мм}.$$

На первый взгляд кажется, что измерение толщины учебника произведено более точно – ведь погрешность этого измерения составляет всего 0,5 мм. Но давайте посмотрим, какую долю (в процентах) составляет погрешность измерения величины при измерении длины стола и при измерении толщины учебника. Обозначим эту долю буквой  $\varepsilon$  ( $\varepsilon$  – буква греческого алфавита, читается эпсилон) и произведём вычисления:

$$\varepsilon_L = \frac{0,5 \text{ см}}{120 \text{ см}} \cdot 100 \% \approx 0,4 \% ,$$

$$\varepsilon_d = \frac{0,5 \text{ мм}}{16 \text{ мм}} \cdot 100 \% \approx 3 \% .$$

Отношение погрешности измерения к измеренной величине, выраженное в процентах, называют *относительной погрешностью измерения*  $\varepsilon$ . Сравнение  $\varepsilon_L$  и  $\varepsilon_d$  показывает, что относительная погрешность измерения длины стола  $\varepsilon_L$  значительно меньше, чем относительная погрешность измерения толщины учебника  $\varepsilon_d$ , то есть первое из этих измерений произведено с большей точностью.

Итак, сформулируем общее правило:

**Для сравнения точности измерений физических величин необходимо сравнивать относительные погрешности измерений.**

Относительная погрешность измерения.

**3.1** ● На рисунке 7 изображён комнатный термометр. Чему равна температура воздуха в комнате? Изменится ли показание термометра, если его расположить напротив окна, на солнечной стороне комнаты?

**3.2** ● Используя измерительные приборы, которые имеются в вашем распоряжении, проведите возможные измерения физических величин. Запишите результаты измерений (не забудьте указать погрешность измерений).

**3.3** ● Используя пластиковую бутылку, изготовьте мензурку. Измерьте с её помощью объём крупной картошкины, яблока, других тел.

**3.4** ● Рассчитайте относительную погрешность  $\epsilon$  измерений, проведённых вами при выполнении задания 2 лабораторной работы.

**3.5** ● Определите, какой может быть наименьшая относительная погрешность измерения для приборов, использованных при выполнении задания 1 лабораторной работы.

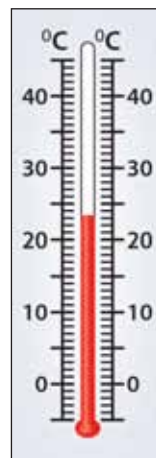


Рис. 7

## Самое важное в разделе «Введение в физику»

1. Физика – наука о природе, изучающая различные явления, причины возникновения и закономерности протекания явлений.

2. Основа первоначальных физических знаний – наблюдения и опыты.

3. Создаваемые учёными-физиками научные теории позволяют не только объяснить уже известные физические явления, но и предсказать новые. Результаты теоретической работы учёных-физиков используются на практике.

4. В ходе опытов производят измерения физических величин. Физическую величину сравнивают с однородной величиной, принятой за единицу этой величины.

5. При измерении неизбежны погрешности.

Пределы измерения: от 0 до 40 ед.

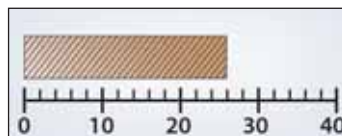
Цена деления:

$$\frac{40 \text{ ед.} - 30 \text{ ед.}}{5} = 2 \text{ ед.}$$

Погрешность:

$$\frac{2 \text{ ед.}}{2} = 1 \text{ ед.}$$

$$A = (26 \pm 1) \text{ ед.}$$





**1.1.** Определите объём, занимаемый воздухом в комнате (квартире), где вы проживаете.



**1.2.** Пусть из крана капает вода. Предложите способы, как определить: а) объём одной капли; б) время падения одной капли. По возможности проведите необходимые измерения.



**1.3.** Определите массу и объём своего тела.



**1.4.** Научитесь определять пульс. Измерьте частоту пульса (число ударов в минуту), когда вы находитесь в покое. Прodelайте энергичные физические упражнения и сразу же после их завершения вновь измерьте частоту пульса. На сколько изменилась частота пульса? Во сколько раз изменилась частота пульса?



**1.5.** Маятник – небольшой груз на нити – может совершать колебания, если отклонить груз на незначительный угол от положения равновесия. Изготовьте маятник и выясните, как период колебаний зависит от длины маятника. Каким образом можно сравнить периоды колебаний маятников различной длины, если в вашем распоряжении нет часов? Период колебаний – это время одного колебания, то есть время движения маятника «туда» и «обратно».

## P. S.



Завершено изучение первого раздела. Вы узнали, каковы задачи физики. Узнали, что новые физические знания добываются трудом учёных при проведении ими наблюдений и опытов, создании научных теорий. Вы уже знаете, как проводить измерения и рассчитывать их погрешности.

Но это только начало пути! Впереди большая и интересная работа по изучению физических явлений.



## Раздел 2. Механическое движение. Силы в природе

В этом разделе вы изучите физическое явление, знакомое каждому из нас, – механическое движение. Вы узнаете, по каким причинам может происходить изменение движения. Почему мяч при ударе отлетает от ноги футболиста? Почему Луна «крутится» (вращается) вокруг Земли? Почему трение бывает не только вредно, но и полезно?



Вспомните:

- С помощью какого прибора водитель определяет скорость движения автомобиля?
- Сколько метров в одном километре?
- Сколько секунд в одном часе?
- Сколько граммов в одной килограмме?
- Какие планеты Солнечной системы вам известны?
- Как проводят состязания по перетягиванию каната?

### § 4. Механическое движение. Относительность движения

Механическое движение – физическое явление

Относительность движения

Траектория и путь

### § 5. Скорость

Что характеризует скорость

Как вычисляют скорость

Скорость – векторная величина

### § 6. Физические задачи.

Расчёт скорости, пути и времени равномерного движения

Как решать физическую задачу

Расчёт скорости, пути и времени равномерного движения

### § 7. Взаимодействие тел. Инертность

Взаимодействие тел

Инертность – свойство тела

### § 8. Масса тела. Измерение массы

Что характеризует масса

Единица измерения массы

Как измеряют массу тела

### § 9. Практическая работа «Измерение массы тел взвешиванием»

**§10. Сила**

Что такое сила

От чего зависит действие силы

Какие бывают силы

Единица измерения силы

Как измеряют силу

**§ 11. Сила упругости. Лабораторная работа «Изучение зависимости силы упругости от величины деформации тела»**

Как возникает сила упругости

От чего зависит сила упругости

**§ 12. Сила всемирного тяготения. Лабораторная работа «Изучение зависимости силы тяжести, действующей на тело, от массы тела»**

Законы природы

Закон всемирного тяготения – великий закон природы

Происхождение и состав Солнечной системы

Сила тяжести

Вычисление силы тяжести

**§ 13. Практическая работа «Изготовление динамометра и проведение измерений»****§ 14. Сила трения скольжения. Лабораторная работа**

«Изучение силы трения скольжения»

При каких условиях возникает сила трения скольжения

От чего зависит сила трения скольжения

Как уменьшить силу трения скольжения

**§ 15. Сила трения покоя. Лабораторная работа «Изучение силы трения покоя»**

При каких условиях возникает сила трения покоя

От чего зависит сила трения покоя

**§ 16. Сложение сил, направленных по одной прямой**

Равнодействующая сила

Определение равнодействующей силы

Самое важное в разделе «Механическое движение. Силы в природе»

P. S.

## § 4. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ



Движенья нет, сказал мудрец брадатый.  
Другой смолчал и стал пред ним ходить.

*А. С. Пушкин (1799–1837)*

В этом параграфе вы познакомитесь с очень важным физическим явлением – механическим движением.

### Механическое движение – физическое явление.



4.1. Попробуйте самостоятельно определить, что такое механическое движение.

Механическое движение – очень распространённое физическое явление. Например, футболист ударяет по мячу, и мяч движется. Болельщики наблюдают, как мяч меняет своё положение на футбольном поле и через некоторое время оказывается в воротах. Двигается чайная чашка, выскользнувшая из рук. Мы видим, как она меняет своё положение относительно стола и падает на пол. Двигаются стрелки часов. Мы наблюдаем, как с течением времени меняется их положение на циферблате часов. Таким образом, чтобы узнать, движется ли некоторое тело или нет, нужно пронаблюдать, меняется ли положение этого тела по отношению к другим телам. Приведём определение физического явления «механическое движение».

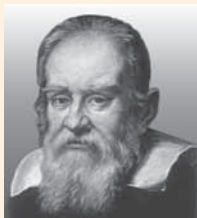
Механическое движение – изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Механическое движение мы наблюдаем и в природе, и в технике, и в быту. Двигается Земля вокруг Солнца и Луна вокруг Земли, движется вода в реке и капельки дождя, падающие вниз. Двигаются поезда и самолёты, движутся, вращаясь, колёса автомобилей. Совершает движение сердце человека, сокращаясь 60–70 раз в минуту.



4.2. Приведите примеры тел, совершающих механическое движение.

4.3. Приведите примеры тел, не совершающих механическое движение.



**Галилео Галилей (1564–1642).** Великий итальянский физик, астроном, философ, математик. Им был сделан ряд замечательных астрономических открытий, он первым использовал телескоп для наблюдения небесных тел. Галилео Галилей – основатель экспериментальной физики, основоположник науки механики.

**Относительность движения.** Интересным и важным свойством движения является относительность механического движения. Например, водитель автомобиля находится в покое относительно автомобиля, но движется относительно поверхности дороги и относительно встречных автомобилей. Пассажир, находящийся в самолёте, движется относительно Земли, но находится в покое по отношению к самолёту.

Рассматривая свойство относительности механического движения, обсудим следующую ситуацию: вы открыли учебник физики и приготовились читать очередной параграф. Движетесь ли вы? На первый взгляд – нет, не движетесь. Но вспомним, что мы живём на планете Земля, которая вращается, делая оборот вокруг своей оси за 24 часа. И какие-нибудь наблюдатели, глядя на Землю «со стороны» (например, с другой планеты), обнаружат, что вы движетесь, вращаясь вместе с Землёй. А если перебраться на Северный или Южный полюса Земли (рис. 8)? Будем ли мы в покое? Находясь в точке полюса, мы не участвуем во вращательном движении Земли. Но Земля вращается и вокруг Солнца, следовательно, по отношению к Солнцу мы движемся. Вообразим, что мы оказались на Солнце. Может быть, там мы с вами будем находиться в состоянии покоя? Но ведь Солнце, как установлено учёными, движется, удаляясь от других звёзд. Следовательно, всегда можно указать тела, относительно которых рассматриваемое тело будет находиться в состоянии движения. Точно так же всегда можно указать тела, относительно которых рассматриваемое тело будет находиться в состоянии покоя.



Рис. 8

Итак, мы убедились, что, приступая к изучению движения какого-нибудь тела, необходимо обязательно определить, относительно каких тел рассматривается его движение. Утверждение «тело движется» или «тело покоится» лишено смысла до тех пор, пока не указано, относительно каких тел или какого тела рассматривается его движение. По отношению к одним телам оно может не двигаться, находиться в состоянии покоя, а по отношению к другим телам – двигаться. В этом-то и заключается свойство относительности механического движения.

**Траектория и путь.** При изучении механического движения, как и при изучении других физических явлений, не обойтись без физических понятий, выражаемых специальными словами – **научными терминами**. Ознакомимся с некоторыми из них. Возьмём кусочек мела и напишем на классной доске слово «физика». Двигаясь, кусочек мела оставил на доске видимый след – линию, по которой происходило его движение.

Линия, по которой происходит движение тела, называется траекторией.

Видимую траекторию – белый след – оставляет, например, летящий реактивный самолёт (рис. 9).

Траектории движущихся тел отличаются и по форме, и по длине. Так, на короткой дистанции бегун движется по прямолинейной траектории длиной 100 м, а конькобежец – по криволинейной траектории длиной, например, 3 км. Одна из физических величин, характеризующих механическое движение, – путь.



Рис. 9

Путь – это длина траектории, пройденная телом.

За единицу измерения пути принят метр (сокращённо обозначается м).

Используются и другие единицы пути – километр, сантиметр, миллиметр.

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м.}$$

$$1 \text{ см} = 0,01 \text{ м.}$$

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м.}$$

Путь, пройденный телом, как и любую другую физическую величину, можно измерить.



4.4. Какие приборы для измерения пути вам известны?

**Механическое движение, относительность движения, траектория, путь.**

**4.1** ● Подготовьте ответ о механическом движении по плану ответа о физическом явлении.

**4.2** ● Какое свойство механического движения иллюстрируют строки Ю.П. Кузнецова из стихотворения «Отцепленный вагон»:

« ...отцепился вагон  
 На каком-то безвестном разъезде.  
 Мы, не зная, из окон глядим.  
 Только поезд пройдёт вдоль разъезда,  
 Нам покажется – мы не стоим,  
 А безмолвно срываемся с места?»

**4.3** ● Начертите (приблизительно) траекторию вашего движения в школу.

**4.4** ● Оцените<sup>1</sup>, чему равен ваш путь в школу.

**4.5** ● Какую траекторию описывает при движении конец минутной стрелки механических часов? Попробуйте определить путь, пройденный концом минутной стрелки за полчаса.

## § 5. СКОРОСТЬ

Пеший конному не попутчик.

*Русская пословица*



Вам уже известно, что такое механическое движение и что оно характеризуется длиной и формой траектории.

**Что характеризует скорость.** Отличия меха-

нических движений по длине и форме траектории – не единственные отличия одного механического движения от другого. Если, например, два спортсмена пробегают стометровку, то их траектории одинаковы и по форме, и по длине, но движения спортсменов всё равно различны, так как различна быстрота их движения. Пусть первый спортсмен пробежал стометровку за 10 с, а второй – за 15 с; тогда легко сделать вывод о том, что первый спортсмен движется в 1,5 раза быстрее, чем второй. Также легко сравнить быстроту движения двух тел и в том случае, когда они двигались одинаковое время, а путь различен. К примеру, если за 4 ч движения автомобиль проехал путь в 300 км, а поезд за такое же время – 200 км, то, значит, автомобиль движется быстрее поезда в 1,5 раза.

<sup>1</sup> Оценить – установить приблизительное значение величины.

Теперь сравните быстроту движения, если автомобиль проехал путь 210 км за 3 ч, поезд – 240 км за 4 ч.



5.1. Чем эта задача отличается от двух предыдущих? Сформулируйте вопрос на сравнение быстроты движения в этом случае.

Сравните свою формулировку вопроса с той формулировкой, что предложена автором.



5.2. Как сравнить быстроту движения двух тел, если они двигались разное время и пройденный ими путь тоже различен?

Для сравнения быстроты движения тел следует сравнить пути, пройденные телами за единицу времени. *Быстроту движения тела характеризуют скоростью.*

Скорость тела – это физическая величина, которая численно равна пути, пройденному телом за единицу времени.

Например, если велосипедист проехал путь 120 м за 20 с, то скорость его движения равна

$$\frac{120 \text{ м}}{20 \text{ с}} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

**Как вычисляют скорость.** Обозначим, как это принято в физике, все величины соответствующими буквами:  $v$  – скорость тела,  $S$  – пройденный телом путь,  $t$  – время движения тела. Тогда формула для расчёта численного значения скорости движения примет вид

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

Так как путь  $S$  измеряют в метрах (сокращённо обозначается м), а время движения  $t$  – в секундах (сокращённо обозначается с), то единица измерения скорости  $v$  – метр в секунду (сокращённо обозначается м/с).



5.3. Какие ещё единицы измерения скорости кроме м/с применяют на практике?

Приведённая выше формула расчёта скорости применима только для **равномерного движения**, то есть такого движения, когда за любые равные между собой промежутки времени тело проходит одинаковый путь. Равномерным движением можно считать движение стрелки часов, движение Земли вокруг Солнца. Но чаще всего в природе и технике встречается **неравномерное движение**, когда за равные промежутки времени тело проходит разный путь. Например, неравномерно движется автобус по маршруту. Неравномерно движется мяч, брошенный баскетболистом, неравномерно движение санок, съезжающих с горки.



В случае неравномерного движения можно определить **среднюю скорость** движения тела  $v_{cp}$ . Если за некоторый промежуток времени  $t$  телом пройден путь  $S$ , то средняя скорость тела за этот промежуток времени рассчитывается по формуле

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

Для измерения скорости используют измерительные приборы – спидометры (от английского слова *speed* – скорость). Скорость также можно определить, измерив путь, пройденный телом (измерительной лентой, линейкой), и время его движения (секундомером). В таблице 1 приведены значения скорости движения некоторых тел.

Таблица 1. Скорости движения некоторых тел

Движущееся тело	Скорость	
	км/ч	м/с
Волк	55–60	
Воробей	35	
Голубь	60–70	
Земля вокруг Солнца		30 000
Звук в воздухе (при температуре воздуха 20 °С)		340
Искусственный спутник Земли		8000
Лев	65	
Лошадь скаковая	46	
Луна вокруг Земли		1000
Пешеход	5	
Черепаша	0,5	

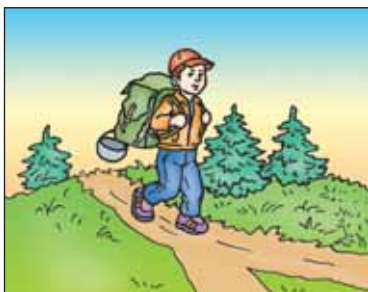


Рис. 10



5.4. Какая скорость в природе является максимально возможной?

**Скорость – векторная величина.** Рассмотрим ещё один пример. Допустим, известно, что турист, начав движение от опушки леса, движется со скоростью 5 км/ч. Сможем ли мы указать, где, в какой точке будет находиться турист через один или два часа?



Совершенно ясно, что для ответа на вопрос нам ещё необходимо знать, в каком направлении – на север, юго-запад или восток – движется турист (рис. 10).

Этот пример показывает, что для полной характеристики движения тела должно быть известно и числовое значение скорости, и её направление. Например, для полной характеристики массы или температуры тела необходимо знать только числовое значение этих величин. **Величина, которая характеризуется только числовым значением, называется скалярной величиной (скаляром).** Для полной же характеристики скорости необходимо знать ещё и её направление. **Физическая величина, которая характеризуется и числовым значением, и направлением, называется векторной величиной (вектором).**

Скорость – векторная величина.

В дальнейшем при изучении физики вы познакомитесь и с другими векторными величинами.

На рисунках векторные величины изображают направленными отрезками (стрелками) – **векторами** в определённом масштабе. Так, на рисунке 11, *а*, *б* изображены векторы скорости велосипедиста и воздушного шара.

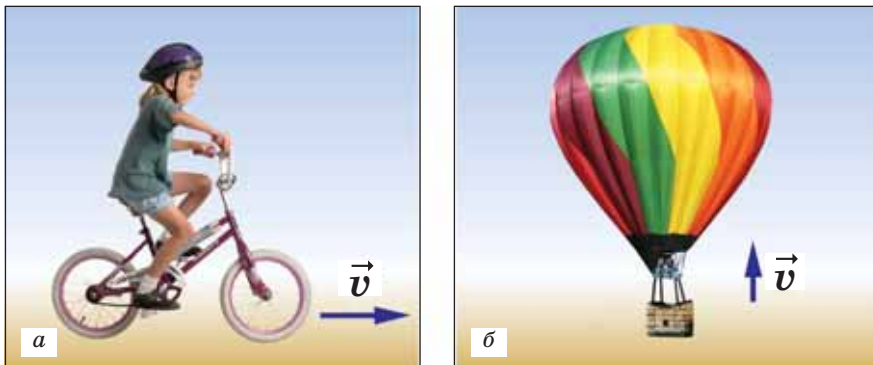


Рис. 11

**Скорость движения,  $v = \frac{S}{t}$ , равномерное движение, неравномерное движение,  $v_{cp} = \frac{S}{t}$ , скалярная величина, векторная величина, **скорость – векторная величина.****

**5.1** ● Подготовьте ответ о понятии скорости механического движения по плану ответа о физической величине.

**5.2** ● Кто летает быстрее – воробей или голубь? во сколько раз?

**5.3** ● Первый официально зарегистрированный в 1898 году мировой рекорд скорости на автомобиле был равен 63,15 км/ч. Изобразите вектор рекордной скорости в масштабе 1 см – 10 км/ч.



**5.4.** Определите скорость своего движения а) при ходьбе; б) при беге. Какие физические величины вам при этом следует измерить?

**5.5** ● Во время представления наездники скачут на лошадях по арене цирка со скоростью 6 м/с, всякий раз делая оборот вокруг арены за одинаковое время. Почему, несмотря на это, верно утверждение, что в каждой точке траектории скорость их движения различна?

## § 6. ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ.

### РАСЧЁТ СКОРОСТИ, ПУТИ И ВРЕМЕНИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ



Природа говорит с нами языком математики.

*Галилео Галилей*

Вам уже известно, что изучает физика. Вы уже знаете формулу для расчёта скорости равномерного движения.

**Как решать физическую задачу.** Изучая физику, мы ставим своей целью проникнуть в суть законов природы. Для этого необходимо не только научиться объяснять наблюдаемые физические явления, но и приобрести умение предвидеть их следствия. Нужно научиться выяснять, к каким изменениям в природе они приведут, какое численное значение будут иметь те или иные физические величины. Овладеть физическими законами, приобрести умение на практике использовать полученные знания о природе можно, только научившись решать физические задачи.

Физическая задача – простой или сложный вопрос, правильный ответ на который можно получить благодаря знанию физики. Решая задачу по физике, следует придерживаться определённых правил:

1. Представьте, о чём идет речь в задаче, какие происходят физические явления.

2. По условию задачи определите, какую именно физическую величину вам необходимо найти.

3. Выясните, от каких физических величин зависит искомая величина, какие из величин уже известны. Какие величины необходимо определить, чтобы узнать искомую величину, и каким образом это можно сделать?

4. Если возникли затруднения, если не ясны этапы решения, то вспомните первое правило – вновь обдумайте условие задачи.

5. Если план решения задачи вами составлен, если вы знаете, как определить искомую физическую величину, то теперь можно записать необходимые физические формулы.

6. Проведите алгебраические преобразования и получите итоговую формулу для расчёта искомой величины.

7. Подставьте численные значения физических величин в итоговую формулу, проведите вычисления.

8. Выполните действия с единицами измерений физических величин и проверьте, что полученная в ответе единица измерения является верной.

9. Обдумайте, реально ли, правдоподобно ли полученное вами численное значение искомой физической величины<sup>1</sup>.

**Расчёт скорости, пути и времени равномерного движения.** Рассмотрим в качестве примера несколько задач.

**Задача 1.** Заяц, спасаясь от волка, преследующего добычу со скоростью 45 км/ч, развил скорость 13 м/с. Догонит ли волк зайца?



6.1. Какую физическую величину вам необходимо определить в задаче?

*Решение:*

Для того чтобы сравнить быстроту движения зайца и волка, необходимо сравнить численные значения их скоростей. Это сравнение возможно только тогда, когда величины выражены одинаковыми единицами измерения. Поэтому переведём значение скорости волка из км/ч в м/с. Это легко сделать, так как нам известно, что 1 км = 1000 м, а 1 ч = 60 мин, 1 мин = 60 с, значит, 1 ч = 60 · 60 с, 1 ч = 3600 с. Скорость волка

$$v_{\text{в}} = 45 \text{ км/ч} = \frac{45 \cdot 1000 \text{ м}}{1 \cdot 3600 \text{ с}} = 12,5 \text{ м/с.}$$

Сравнивая скорости волка и зайца, видим, что в этом случае волк не догонит зайца.

<sup>1</sup> Вряд ли задача решена верно, если, к примеру, получен ответ: велосипедист за 2 ч проехал путь 200 м или скорость пешехода 40 км/ч.

При решении физических задач и проведении расчётов чаще всего используют такие единицы измерения величин, как **килограмм, метр, секунда**. Эти единицы измерения входят в **Международную систему единиц физических величин**, сокращённо **СИ**<sup>1</sup>. Международную систему единиц образуют семь основных единиц, среди них единицы массы (килограмм), времени (секунда), длины (метр); с другими основными единицами системы вы познакомитесь в дальнейшем при изучении физики. Остальные единицы измерения выражают через основные единицы. Например, единица измерения площади – квадратный метр ( $\text{м}^2$ ), единица измерения объёма – кубический метр ( $\text{м}^3$ ), единица измерения скорости – метр в секунду ( $\text{м/с}$ ).

По какой причине используют Международную систему единиц? Раньше на протяжении многих веков каждая страна имела свои единицы измерения (свои меры), которые устанавливало правительство данной страны. Так, в Европе широко применялась единица измерения расстояния фут (от английского *foot* – ступня), точное значение которого различается в разных странах. Например, бельгийский фут – 0,287 м, венгерский фут – 0,313 м, итальянский – 0,280 м и так далее. Даже внутри одной страны меры, имеющие одинаковые названия, могли значительно отличаться друг от друга; вспомните пословицу «Мерить на свой аршин». Деление крупных мер на более мелкие было совершенно произвольным, и приходилось тратить много времени на их заучивание. Например, верста – 500 сажёнёй, сажёнёнь – 3 аршина, аршин – 16 вершков или ярд – 3 фута, фут – 12 дюймов. Всё это мешало развитию науки и техники, усложняло торговые отношения между разными государствами.

В конце XVIII века группа французских учёных предложила метрическую систему мер «на все времена и для всех народов». Метрическая система мер – система десятичная: в каждой крупной единице содержится десять следующих по величине меньших единиц. Дольные и кратные единицы получали путём деления или умножения основной единицы на число, кратное десяти. Названия всех производных единиц от основной образуются при помощи латинских и греческих приставок. (В таблице на заднем форзаце учебника приведены наиболее часто встречающиеся приставки.)

В 1872 году в Париже состоялось заседание Международной конференции мер, в которой приняли участие представители тридцати стран. Конференция признала метрическую систему международной. В 1960 году 11-й Генеральной конференцией по мерам и весам была принята Международная система единиц физических величин.

<sup>1</sup> От французского *Systeme International*, SI, в русской транскрипции – СИ.

**Задача 2.** Автомобиль, двигаясь равномерно, проезжает по шоссе 6 км за 5 мин. Какова скорость движения автомобиля (в м/с)?



6.2. Какую физическую величину вам необходимо определить в задаче?

*Решение:*

Автомобиль совершает механическое движение, быстрота которого характеризуется физической величиной скоростью. Для определения скорости равномерного движения необходимо знать пройденный путь и время движения тела. И путь, и время известны, но численные значения этих физических величин следует перевести в Международную систему единиц (СИ).

Запись решения задач по физике проводят так:

Дано:	СИ:	Решение:
Автомобиль		$v = \frac{S}{t}$
$S = 6$ км	6000 м	
$t = 5$ мин	300 с	$v = \frac{6000 \text{ м}}{300 \text{ с}} = 20 \text{ м/с}$
$v = ?$		

Ответ:  $v = 20$  м/с.

Выясним, мог ли автомобиль двигаться с рассчитанной нами скоростью; реален ли ответ, полученный при решении задачи. При этом удобно использовать следующее соотношение (смотри решение первой задачи этого параграфа):

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

$$36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с}.$$

Тогда, используя пропорцию

$$\begin{array}{l} 36 \text{ км/ч} - 10 \text{ м/с} \\ ? - 20 \text{ м/с}, \end{array}$$

легко определить, что скорость автомобиля составляет 72 км/ч, то есть ответ, полученный нами при решении задачи, реален.

**Задача 3.** Вычислите, сколько времени идёт свет от Солнца до Земли, расстояние между которыми 150 млн км.



6.3. Какую физическую величину вам необходимо определить в задаче?

*Решение:*

Как следует из определения скорости, за единицу времени тело проходит путь, равный численному значению его скорости. Значит, для того чтобы определить время движения тела, нужно пройденный путь разделить на скорость, то есть путь за единицу времени.

Путь, пройденный телом, известен, а скорость света измерена учёными и равна 300 000 км/с. (Это наибольшая скорость, которая только может быть в природе.)

*Дано:*

Свет

$$S = 150\,000\,000 \text{ км}$$

$$v = 300\,000 \text{ км/с}$$

$t$  – ?

*Решение:*

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

Отсюда  $t = \frac{S}{v}$

$$t = \frac{150\,000\,000 \text{ км}}{300\,000 \text{ км/с}} = 500 \text{ с.}$$

Действия с единицами измерений:

$$\text{км} : \frac{\text{км}}{\text{с}} = \frac{\text{км} \cdot \text{с}}{\text{км}} = \text{с.}$$

*Ответ:*  $t = 500 \text{ с.}$

Как видим, свет от Солнца – ближайшей к нам звезды – идёт до Земли около 8 минут. А от других, более далёких звёзд, свет идёт до Земли десятки, сотни и тысячи лет! В астрономии даже применяется специальная единица измерения – световой год. *Световой год – это расстояние, которое свет проходит за год.*

**Задача 4.** Во время грозы человек услышал гром через 3 с после вспышки молнии. На каком расстоянии произошёл грозовой разряд?



6.4. Какую физическую величину вам необходимо определить в задаче?

*Дано:*

Гроза

$$t = 3 \text{ с}$$

$$v = 340 \text{ м/с}$$

$S$  – ?

*Решение:*

Скорость (по определению) – путь, пройденный телом за единицу времени. Значит, для того, чтобы определить путь, пройденный звуком за некоторое время, нужно скорость звука умножить на время его движения. Скорость звука найдём из таблицы 1 (§ 5). Время известно.

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

Отсюда

$$S = v t.$$

$$S = 340 \text{ м/с} \cdot 3 \text{ с} = 1000 \text{ м.}$$

Действия с единицами измерений:

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

Ответ:  $S = 1000 \text{ м}$ .

Обратите внимание: при вычислении пути мы записали ответ

$$S = 1000 \text{ м},$$

то есть округлили полученное численное значение физической величины. Сделано это не случайно! Всегда нужно помнить, что, решая физические задачи, мы используем при расчётах численные значения величин, полученные в результате измерений. Но так как любые измерения всегда выполняются с некоторой погрешностью, то и все численные значения физических величин – это, конечно же, значения приближённые. Численное значение физической величины, полученное в результате вычислений, необходимо округлять.

**Задача 5.** Велотурист в течение 3 ч ехал на велосипеде, а затем после поломки велосипеда ещё 2 ч двигался пешком. Во время своего движения турист через каждый час отмечал пройденный от начала движения путь и заносил данные в таблицу:

Время движения $t$ , ч	1	2	3	4	5
Пройденный путь $S$ , км	10	20	30	35	40

По данным, приведённым в таблице, постройте график движения туриста, то есть зависимость пройденного им пути от времени.



6.5. Чем эта физическая задача отличается от предыдущих задач?

*Решение:*

Начертим взаимно перпендикулярные вертикальную и горизонтальную оси будущего графика (рис. 12, *а*). Так как пройденный туристом путь зависит от времени, то на горизонтальной оси отложим время движения, обозначив его буквой  $t$  и указав, что оно измеряется в часах (рис. 12, *б*). На вертикальной оси отложим зависимую величину – в нашем случае это пройденный телом путь  $S$ , измеряемый в километрах (рис. 12, *в*). Выберем подходящий масштаб. Пусть по горизонтальной оси (оси времени) два деления соответствуют 1 ч, а по вертикальной оси (оси пути) одно деление соответствует пройденному пути 5 км (рис. 12, *г*).

Используя данные, приведённые в таблице, отметим точки графика зависимости пройденного пути от времени и соединим их линией. Полученный график на рисунке 12, *г* и есть график зависимости пройденного пути от времени.

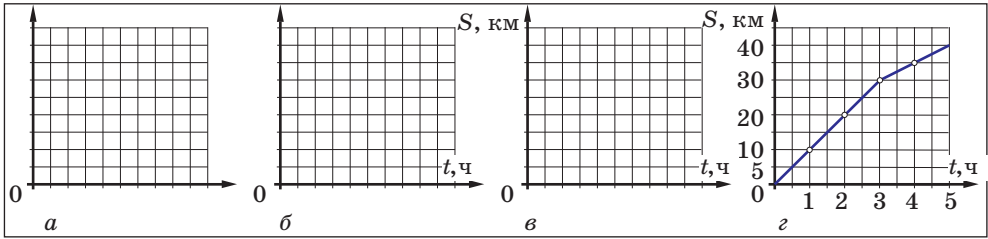


Рис. 12



6.6. Как – равномерно или неравномерно – двигался турист?



**Задача 6.** Первые 2 ч автомобиль двигался со скоростью 80 км/ч, а последующие 4 ч – со скоростью 60 км/ч. Вычислите среднюю скорость движения автомобиля за эти 6 ч.

*Дано:*

Автомобиль  
 $t_1 = 2$  ч  
 $v_1 = 80$  км/ч  
 $t_2 = 4$  ч  
 $v_2 = 60$  км/ч  


---

 $v_{cp} - ?$

*Решение:*

Для расчёта средней скорости необходимо знать всё время движения и весь путь, пройденный телом за это время. Всё время движения известно, а весь путь легко найти, вычислив путь, пройденный автомобилем на первом и втором участках движения.

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

Всё время движения  $t$  равно

$$t = t_1 + t_2.$$

Весь путь  $S$  равен

$$S = S_1 + S_2.$$

$$v_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{t_1 + t_2}. \quad (6.1)$$

Ясно, что

$$S_1 = v_1 \cdot t_1,$$

$$S_2 = v_2 \cdot t_2.$$

Тогда формула (6.1) примет вид

$$v_{cp} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2}.$$

$$v_{cp} = \frac{80 \text{ км/ч} \cdot 2 \text{ ч} + 60 \text{ км/ч} \cdot 4 \text{ ч}}{2 \text{ ч} + 4 \text{ ч}} = 67 \text{ км/ч}.$$



Действия с единицами измерений:

$$\frac{\text{км/ч} \cdot \text{ч} + \text{км/ч} \cdot \text{ч}}{\text{ч} + \text{ч}} = \frac{\text{км} + \text{км}}{\text{ч}} = \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ:  $v_{\text{ср}} = 67$  км/ч.

Обратите внимание, при решении этой задачи мы использовали внесистемные единицы измерения физических величин<sup>1</sup> – единицы измерения времени (ч), расстояния (км), скорости (км/ч). Это допустимо, если существенно упрощает расчёты в процессе решения задачи.

**Задача 7.** Колонна автомобилей КамАЗ движется по дороге со скоростью 90 км/ч. Въезжая на повреждённый участок дороги, каждый автомобиль в колонне уменьшает скорость до 36 км/ч. Какой должна быть минимальная дистанция между автомобилями, чтобы они не сталкивались? Длина каждого автомобиля 8 м.

<i>Дано:</i>	<i>СИ:</i>	<i>Решение:</i>
Автомобиль		Ясно, что при движении автомобилей по шоссе и по повреждённому участку они не могут столкнуться, так как у них одинаковые скорости. Значит, столкновение может произойти только в момент въезда автомобиля на повреждённый участок.
$v_1 = 90$ км/ч	25 м/с	
$v_2 = 36$ км/ч	10 м/с	
$l = 8$ м		
$d - ?$		

Рассмотрим движение двух соседних автомобилей в колонне. Пусть дистанция между автомобилями  $d$ . Если первый автомобиль достиг повреждённого участка, то он будет въезжать на него за время  $t$ , равное

$$t = \frac{l}{v_2}. \quad (6.2)$$

В течение этого времени второй автомобиль ещё продолжает двигаться с более высокой скоростью  $v_1$  и проходит путь

$$S = v_1 t. \quad (6.3)$$

Чтобы столкновение не произошло, необходимо выполнение условия

$$d + l > S.$$

Или с учётом формулы (6.3)

$$d + l > v_1 t.$$

Отсюда

$$d > v_1 t - l.$$

Или с учётом формулы (6.2)

$$d > v_1 \frac{l}{v_2} - l.$$

<sup>1</sup> Внесистемная единица измерения физической величины – то есть единица измерения, не принадлежащая Международной системе единиц.

$$d > l \left( \frac{v_1}{v_2} - 1 \right).$$

$$d > 8 \text{ м} \left( \frac{25 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}} - 1 \right).$$

$$d > 12 \text{ м}.$$

Действия с единицами измерений:

$$\text{м} \left( \frac{\text{м/с}}{\text{м/с}} - 1 \right) = \text{м}.$$

Ответ:  $d > 12 \text{ м}$ .

**Правила решения задач по физике, Международная система единиц (СИ),  $36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с}$ , расчёт скорости, пути и времени равномерного движения.**

- 6.1** ● Муха пересекает учебный кабинет шириной  $7,5 \text{ м}$  за  $1,5 \text{ с}$ . Рассчитайте скорость полёта мухи в  $\text{м/с}$ ,  $\text{км/ч}$ .
- 6.2** ● Каков путь автомобиля за  $45 \text{ мин}$  его движения, если всё это время показания спидометра составляли  $90 \text{ км/ч}$ ?
- 6.3** ● За сколько времени плот проплывёт по реке  $2,1 \text{ км}$ , если скорость течения реки  $0,7 \text{ м/с}$ ?
- 6.4** ● На рисунке 13 изображён график движения бегуна по дистанции длиной  $200 \text{ м}$ . Первые или последние  $100 \text{ м}$  бегун преодолел с большей скоростью? Ответ обосновать.
- 6.5** ● В начале участка шоссе стоит дорожный знак «Ограничение максимальной скорости» (рис. 14). Этот знак запрещает движение со скоростью (в  $\text{км/ч}$ ), превышающей скорость, указанную на знаке. Нарушил ли правила движения водитель автомобиля, равномерно прошедшего участок дороги длиной  $1,8 \text{ км}$  за  $4 \text{ мин}$ ?
- 6.6** ● Некоторые марки механических часов имеют центральную секундную стрелку, длина которой равна длине минутной. Конец какой из стрелок движется с меньшей скоростью и во сколько раз? Ответ обосновать.



**6.7.** Составьте задачу по теме «Механическое движение. Скорость равномерного движения».

Составленная вами задача может быть оформлена следующим образом: лист бумаги (формат А4) сгибается пополам. На первой странице рисуется картинка, соответствующая теме задачи, иллюстрацию к задаче можно также попробовать найти

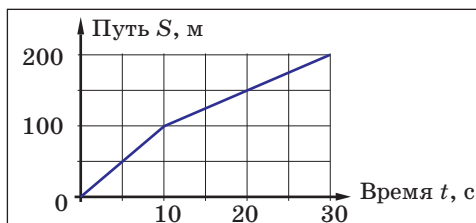


Рис. 13



Рис. 14

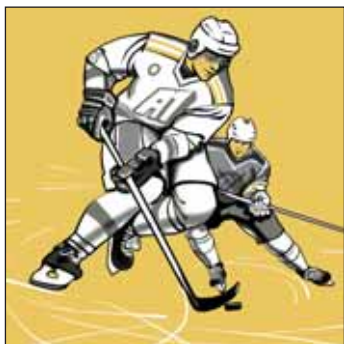
в Интернет-ресурсах. На третьей странице пишется (полностью, без сокращений) текст задачи. Решение задачи выполняется на отдельном листе бумаги – это позволит лучшие из составленных вами задач использовать в дальнейшей работе.

**6.8** ● Маршрутный автобус первые 3 ч двигался со скоростью 65 км/ч, а затем 140 км пути преодолел со скоростью 70 км/ч. Определите среднюю скорость автобуса на маршруте.

**6.9** ● Два корабля, находившиеся первоначально на расстоянии 30 км, сближаются со скоростью 4 и 6 км/ч соответственно. Между кораблями непрерывно от одного к другому летает голубь со скоростью 40 км/ч. Какой путь пролетит голубь до встречи кораблей? Время, затрачиваемое голубем на развороты, не учитывать.

**6.10** ● На заводе два параллельно расположенных конвейера движутся в противоположных направлениях, один – со скоростью 50 см/с, другой – 0,3 м/с. С какой скоростью перемещаются друг относительно друга предметы на этих конвейерах?

## § 7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. ИНЕРТНОСТЬ



...Михайло Иванович взглянул на свой стул и зарычал страшным голосом:

«Кто сидел на моём стуле и сдвинул его с места!»

*Л. Н. Толстой (1828–1910),  
великий русский писатель, сказка «Три медведя»*

Вы уже знакомы с физическим явлением «механическое движение» и величиной «скорость».

### Взаимодействие тел.



7.1. Пусть железный шарик подвешен на нити. Предложите как можно больше способов изменения скорости этого шарика.

Действительно, есть много способов изменить скорость шарика. Можно, например, обрезать нить, и тогда шарик будет падать вниз, увеличивая свою скорость. Можно подуть на шарик или щёлкнуть по нему линейкой. Можно поднести магнит, и под действием магнита железный шарик тоже придёт в движение. Интересно, что во всех этих рассмотренных способах и тех способах, что предложите вы, есть нечто общее, а именно **шарик изменяет скорость только под действием на него другого тела.**



7.2. Может ли измениться скорость тела, если на него не действуют никакие другие тела?

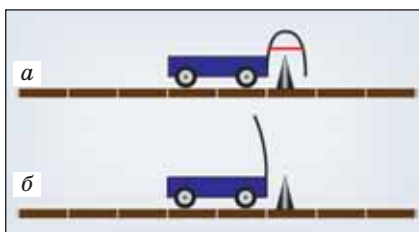


Рис. 15

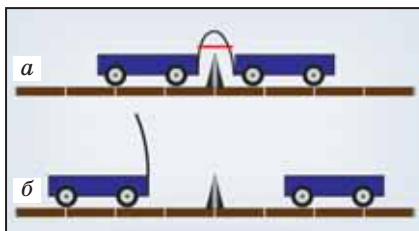


Рис. 16

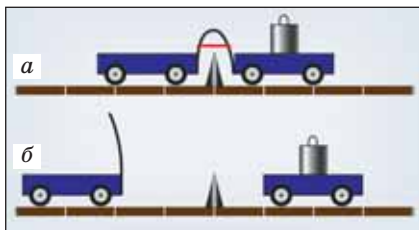


Рис. 17

Проведём такой опыт. К тележке прикреплен упругая пластинка (рис. 15, а). Пластинку изогнём и свяжем ниткой. Если теперь пережечь нить, то тележка не изменит свою скорость (рис. 15, б). Упругая пластина, распрямляясь, не отталкивалась ни от какого другого тела, и поэтому скорость тележки не изменилась. Этот опыт ещё раз подтверждает – тело изменяет скорость только тогда, когда на него действует другое тело.

Посмотрим, что будет происходить, если рядом с тележкой по другую сторону от изогнутой пластины поставить вторую тележку (рис. 16, а).

После пережигания нити обе тележки изменяют скорости, двигаясь в противоположные стороны (рис. 16, б). Благодаря изогнутой пластине, в течение некоторого времени первая тележка действует на вторую, а вторая тележка – на первую, то есть тележки взаимодействуют. При взаимодействии оба тела изменяют свою скорость.

Точно так же, например при выстреле из ружья, в результате взаимодействия ружья и пули (благодаря порохом газам) и пуля, и ружьё движутся в разные стороны.



### 7.3. Одинаковы ли скорости пули и ружья при выстреле?

Пронаблюдаем, как будет происходить взаимодействие тележек, если на одну из них поставить гирию или положить кирпич (рис. 17, а). При пережигании нити тележки по-прежнему какое-то время взаимодействуют, но их скорости изменяются неодинаково (рис. 17, б).

**Инертность – свойство тела.** Учёными-физиками установлено, что – *скорость тела изменяется только при его взаимодействии с другими телами;*

– *разные тела по-разному изменяют свою скорость во время взаимодействия;*

– *никакое тело при взаимодействии не изменяет свою скорость мгновенно.*

Это свойство тела получило в физике название инертность (инерция).

Инертность тела – это свойство тела изменять свою скорость постепенно, а не мгновенно, при взаимодействии с другими телами.

Проделаем опыт. На пустой стакан положим кусок картона с монетой (рис. 18). Резко ударим по ребру картона. При этом картонка вылетит, а монета упадет на дно стакана. Это происходит потому, что из-за своих инертных свойств монета не успевает изменить скорость и, лишившись опоры, падает в стакан. Легко разгадать, зная о свойстве инертности тел, и секрет старого



Рис. 18

циркового номера – на груди лежащего на арене цирка атлета устанавливали массивную наковальню. По этой наковальне молотобоец из всех сил наносил резкие удары молотом, но это не причиняло никакого вреда атлету. И немудрено – ведь за непродолжительное время удара молота наковальня ввиду своей инертности не приходит в движение и дополнительно не действует на атлета. Инертные свойства тел проявляются во многих случаях. Вспомните, как трудно повернуть, изменить направление скорости при беге или езде на велосипеде. Или, например, при резком торможении автомобиля или автобуса пассажиров «бросает» вперёд. Это объясняется тем, что автомобиль, тормозя, уже изменил свою скорость, а пассажиры ещё продолжают двигаться с прежней скоростью (как говорят, «по инерции») и, обгоняя автомобиль, сдвигаются вперёд.



7.4. Объясните, почему, если автомобиль резко трогается с места, то его пассажиров отбрасывает назад.

Разные тела имеют различную инертность. Так, в описанном выше опыте (рис. 17) тележка с гирей более инертна, чем другая тележка, так как она при взаимодействии изменила скорость на меньшую величину.

То, что всякое тело инертно и не может мгновенно изменить свою скорость, следует помнить не только на уроках физики, но и в жизни. Так, например, при торможении колёса автомобиля взаимодействуют с дорогой. Ввиду инертности автомобиль мгновенно никогда остановиться не может и ещё проедет до остановки тормозной путь в несколько метров. То же происходит и при торможении поезда или другого транспортного средства. Об этом всегда следует помнить при переходе дороги и соблюдать осторожность.

**Взаимодействие тел, инертность тел.**

**7.1** ● В произведении Р. Э. Распэ «Приключения барона Мюнхгаузена» описывается способ спасения барона Мюнхгаузена, попавшего с конём в болото: «... Болото с ужасной быстротой засасывало нас глубже и глубже..., вот уже и моя голова стала погружаться в болото, и оттуда торчит лишь косичка моего парика... Схватив себя за эту косичку, я изо всех сил дёрнул вверх и без большого труда вытащил из болота и себя, и своего коня...» Объясните, почему такой способ спасения барона Мюнхгаузена в действительности невозможен.

**7.2** ● Заяц, спасаясь от преследующей его собаки, делает резкие прыжки в сторону. Почему собаке трудно поймать зайца, хотя она бежит быстрее?

**7.3** ● Почему капли дождя при резком встряхивании слетают с одежды?

**7.4** ● Почему при прополке сорняков их нельзя вырывать из земли рывком?

**7.5** ● Для регулирования дорожного движения применяют светофоры. Зелёный сигнал светофора разрешает движение, красный – запрещает. А для чего необходим жёлтый сигнал светофора? Почему пешеходные светофоры содержат только два сигнала – зелёный и красный?

## § 8. МАССА ТЕЛА. ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ



Пустой кувшин с края крыши быстро свалится.

*Персидская пословица*

Вы уже знаете, что изменение скорости тел при их взаимодействии определяется инертными свойствами тел. Инертные свойства разных тел не одинаковы.

**Что характеризует масса.** Если мы поставим перед собой задачу сравнить инертные свойства тел, например тележек, изображённых на рисунке 17, то для этого нам необходимо будет сравнить изменение скорости этих тележек при их взаимодействии. Из опыта известно, что правая тележка с грузом (рис. 17) при взаимодействии изменит свою скорость на меньшую величину, чем левая тележка без груза. Это означает, что инертные свойства правой тележки больше, чем у левой тележки.

Инертные свойства тел характеризуют физической величиной – массой.

Масса тела – физическая величина, являющаяся мерой инертных свойств тела.

Чем больше инертность тела, тем больше его масса. Сравним массы двух тележек, изображённых на рисунке 17. Пусть, например, при взаимодействии скорость правой тележки с грузом изменилась на  $0,2$  м/с, а скорость левой тележки изменилась на  $0,4$  м/с. Правая тележка с грузом более инертная, чем левая тележка без груза. Изменение скорости правой тележки в 2 раза меньше, чем левой. Значит, масса правой тележки в 2 раза больше, чем масса левой тележки.



8.1. Пусть при взаимодействии тележек (рис. 16) их скорости изменились одинаково, например, на  $0,3$  м/с. У какой из тележек – правой или левой – масса больше? Ответ обосновать.

**Единица измерения массы.** Единица измерения массы в Международной системе единиц физических величин (СИ) называется килограмм (сокращённо обозначается кг). Гиря – эталон<sup>1</sup> килограмма – представляет собой цилиндр высотой  $39,17$  мм и такого же диаметра (рис. 19). Он изготовлен из сплава двух металлов – платины и иридия. С конца XIX века этот эталон хранится в Международном бюро мер и весов в г. Севре близ Парижа, а для других стран с наивысшей достижимой точностью были выполнены копии эталона килограмма.

Одна из копий эталона килограмма находится и в России в Институте метрологии им. Д. И. Менделеева.

Практически одному килограмму равна масса одного литра чистой воды при температуре  $4$  °С.

Кроме основной единицы массы килограмм часто используются такие единицы измерения, как тонна (сокращённо обозначается т), центнер (сокращённо обозначается ц), грамм (сокращённо обозначается г), миллиграмм (сокращённо обозначается мг).



Рис. 19

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг.}$$

$$1 \text{ кг} = 1000 \text{ г.}$$

$$1 \text{ г} = 1000 \text{ мг.}$$

$$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг.}$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг.}$$

$$1 \text{ мг} = 0,001 \text{ г.}$$

Массы некоторых тел указаны в таблице 2.

<sup>1</sup> Эталон – образцовая мера.



Таблица 2. Масса некоторых тел

Атмосфера Земли	5 000 000 000 000 000 т
Бактерия	0,000 000 005 г
Земля	6 000 000 000 000 000 000 000 т
Колибри (наименьшая из птиц)	1,7 г
Пассажирский вагон	54 т
Первый искусственный спутник Земли	83,6 кг
Самый большой из добытых китов	150 т
Слон	до 4,5 т
Футбольный мяч	0,4 кг
Хоккейная шайба	160–170 г

### Как измеряют массу тела.



8.2. Пусть имеется два металлических цилиндра – железный и алюминиевый, подвешенные на нитях (рис. 20). Как узнать, какой из них имеет большую массу?



Рис. 20

#### Первый способ измерения массы.

Для сравнения массы двух тел необходимо сравнить инертные свойства этих тел. Например, отведём алюминиевый цилиндр (рис. 20) в сторону и отпустим его так, чтобы он, набрав скорость, ударился о железный цилиндр. По изменению скорости алюминиевого и железного цилиндров при их взаимодействии можно будет судить об инертных свойствах, а значит, и о массе цилиндров. Опыт показывает, что скорость железного цилиндра изменяется меньше, чем скорость алюминиевого цилиндра. Следовательно, инертные свойства и масса железного цилиндра больше, чем инертные свойства и масса алюминиевого цилиндра. Допустим, при взаимодействии скорость железного цилиндра изменилась на 20 см/с, а скорость алюминиевого цилиндра изменилась на 60 см/с. Значит, масса железного цилиндра больше массы алюминиевого цилиндра в 3 раза.

Возьмём вместо одного из цилиндров гирию массой 1 кг. Тогда по результатам взаимодействия можно будет сравнить массу цилиндра с массой килограммовой гири, то есть измерить массу цилиндра.



### Второй способ измерения массы.

*Второй способ измерения массы тела основан на использовании весов.* На рисунке 21 изображены простейшие учебные весы и набор гирь и разновесов к ним.

Основная часть таких весов – коромысло 1, которое свободно поворачивается на оси 2. К коромыслу весов на равном расстоянии от оси прикреплены чашки весов 3. К весам прилагается набор гирь и разновесов разной массы от 10 мг до 100 г в футляре 4. Разновесы, которые изготовлены в виде алюминиевых пластинок, и мелкие гири берут с помощью пинцета 5. Даже простейшие учебные весы являются достаточно точным физическим прибором и требуют бережного и аккуратного обращения.

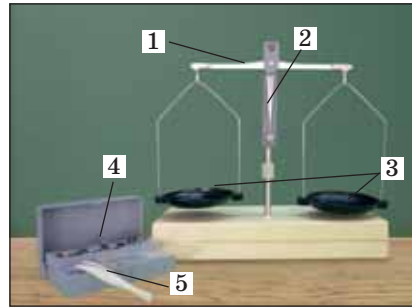


Рис. 21

При определении массы тела путём его взвешивания необходимо придерживаться определённых правил.

### Правила взвешивания:

1. Перед взвешиванием убедитесь, что весы уравновешены, то есть чашки весов находятся на одной высоте. Если это не так, то на более лёгкую чашку весов положите небольшие кусочки бумаги и добейтесь равновесия.

2. Нельзя пробовать взвешивать тела более тяжёлые, чем указанная на весах предельная нагрузка.

3. Придерживая снизу левую чашку весов ладонью, аккуратно положите на неё взвешиваемое тело.

4. На правую чашку весов по одной кладут гири. Начинают с крупных гирь. Если гиря перетянет, то её возвращают в футляр, а если не перетянет, оставляют на чашке весов. Затем то же проделывают со следующей гирей, меньшей массы, и так до тех пор, пока весы не будут уравновешены.

5. Добившись равновесия весов, подсчитывают общую массу гирь на чашке весов. Сумма масс всех гирь и будет равна массе тела.

6. Записывают результат измерения массы тела, считая погрешность измерения равной половине массы наименьшей гири.

7. Придерживая правую чашку весов, убирают с левой чашки взвешиваемое тело.

8. Возвращают гири в футляр на предназначенное им место.

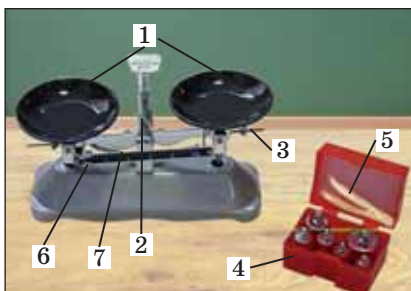


Рис. 22

Встречаются весы и другой конструкции (рис. 22). Перед взвешиванием чашки 1 кладут в гнезда на коромысле 2 и весы уравнивают вращением регулировочных гаек 3, расположенных на торцах коромысла. К весам прилагается набор гирь от 5 до 100 г в футляре 4 и пинцет 5. При проведении взвешивания вместо разновесов используется перегрузок 6, который двигают по шкале 7 до наступления равновесия.

К настоящему времени учёные-физики разработали самые разнообразные методы измерения массы тел, основанные на взвешивании и взаимодействии тел. Определены не только массы мельчайших частиц вещества – молекул, но даже и массы тех частиц, из которых состоят молекулы и атомы. Учёными определены масса Земли и других планет Солнечной системы. Рассчитаны массы Солнца и многих других звёзд, находящихся от Земли на невообразимо большом расстоянии.



8.3. Каким способом, по вашему мнению, учёные могли определить массы планет и звёзд?

В заключение отметим такой интересный факт. Как установлено учёными-физиками, каким бы способом – путём взаимодействия тел или путём взвешивания – ни измерялась масса, значение получается одинаковым. **Результат измерения массы не зависит от того, какой из двух способов измерения используется.**

**Масса тела, килограмм, два способа измерения массы, весы, правила взвешивания на весах.**

- 8.1** ● Подготовьте ответ о массе по плану ответа о физической величине.
- 8.2** ● Выразите в килограммах массу колибри, хоккейной шайбы, слона. Выразите в миллиграммах массу колибри, мячика для настольного тенниса.
- 8.3** ● Во сколько раз масса Земли больше массы её атмосферы?
- 8.4** ● На горизонтальном участке дороги произошло столкновение двух грузовых железнодорожных вагонов, двигавшихся с одинаковыми скоростями навстречу друг другу. После столкновения вагоны остановились. Сравните массы вагонов. Ответ обосновать.
- 8.5** ● Человек выпрыгнул из неподвижной лодки на берег, и лодка пришла в движение. Скорость человека при прыжке относительно берега 6 м/с; скорость, с которой лодка удаляется от берега, 3 м/с. Сравните инертные свойства лодки и человека. Какова масса лодки, если масса человека 70 кг?

## § 9. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛ ВЗВЕШИВАНИЕМ»



Две сестры качались,  
Правды добивались.  
А когда добились,  
То остановились.

*Загадка*

Для выполнения практической работы необходимо знать правила взвешивания на рычажных весах.



**Задание 1.** Измерьте массу нескольких тел (карандаш, деревянный брусок, стеклянная колба, муфта от штатива и другие) с точностью до 0,1 г. Результаты измерения занесите в таблицу:

Название тела	Масса тела, г	Масса тела, кг



**Задание 2.** Определите среднюю массу одного рисового зёрнышка.



**Задание 3.** Определите длину проволоки, скрученной в моток. Моток раскручивать нельзя. (Подсказка. Можно воспользоваться ножницами.)

**Задание 4.** Определите площадь плоской фигуры неправильной формы, вырезанной из картона или плотной бумаги.

**Задание 5.** Определите массу воды, налитой в небольшую колбу, которая помещается на чашке весов.

**Задание 6.** Определите массу воды в сосуде, который нельзя расположить непосредственно на чашке весов. В вашем распоряжении ещё имеется мензурка.

**9.1** ● В набор к учебным весам (рисунок 21) входят гири и разновесы следующей массы: 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2, 1 г и 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10 мг. Какую наибольшую массу тела можно определить с помощью таких учебных весов? Ответ приведите в граммах и килограммах.



**9.2.** Положите на стол длинную линейку и закрепите её, например, придавив тяжёлой книгой. В дальнейшем ребро линейки будет играть роль направляющей, вдоль которой скользят монеты. С противоположных концов линейки одновременно толкните монеты вдоль направляющего ребра линейки так, чтобы они столкнулись примерно у середины линейки. В таком случае скорости движения монет перед столкновением одинаковы (обоснуйте почему). Пронаблюдайте, у какой из монет при столкновении скорость изменится больше. Сделайте вывод, какая из монет имеет большую массу.

**9.3** ● Масса железнодорожного грузового вагона 22,6 т. Выразите массу вагона в килограммах.



**9.4.** Изготовьте самодельные весы. Чашки весов можно сделать, например, из спичечных коробков или одинаковых пластмассовых крышек, подвесив их на нитках к коромыслу весов, изготовленному из линейки или куска прочной проволоки. В качестве гирь и разновесов можно использовать отдельные монеты. Измерьте массу некоторых предметов. Попробуйте определить массу одного зёрнышка пшена.

**9.5** ● Масса мёда в заполненной трёхлитровой банке 4 кг 50 г. На сколько граммов мёда в банке станет меньше, если зачерпнуть ложкой 20 см<sup>3</sup> мёда? (Подсказка. 1 л = 1000 см<sup>3</sup>.)

## § 10. СИЛА



В современной науке слово «сила» ...является точной количественной мерой взаимодействия.

*Из книги В.И. Григорьева, Г.Я. Мякишева  
«Силы в природе»*

Вы уже знаете, что скорость любого тела изменяется только при его взаимодействии с другими телами.

**Что такое сила.** Мы уже обсуждали вопрос: «Как можно изменить скорость тела?»

и выяснили: скорость тела изменяется при его взаимодействии с другими телами. Скорость тела может изменяться по-разному, причём величина изменения скорости зависит от инертных свойств (массы) тела. При разных массах тел изменения скоростей взаимодействующих тел различны. При одинаковых массах взаимодействующие тела изменяют скорость одинаково.

Но величина изменения скорости тела определяется не только массой тела. Она зависит и от того, как взаимодействуют тела. При значительном взаимодействии тел и изменение скорости тел будет больше. Действительно, повторим опыты с тележками (рис. 17, а, б), но прикрепим к тележке не одну, а две изогнутые пластинки – в этом случае скорости тележек изменятся на большую величину. Или, если к железному шарик, подвешенному на нити, поднести не один, а два магнита, то и скорость шарика изменится больше.

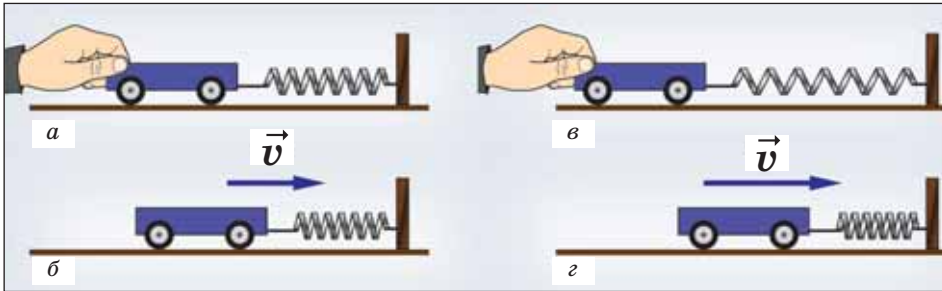


Рис. 23

Рассмотрим опыт (рис. 23). Закрепим один конец пружины неподвижно, а другой прикрепим к тележке (рис. 23, а). Сдвинем тележку, растянув пружину, а затем отпустим. Под действием растянутой пружины тележка придёт в движение (рис. 23, б). Растянем пружину на большую величину (рис. 23, в) и вновь отпустим тележку – в этот раз скорость тележки изменится больше, чем в первом случае (рис. 23, г). Рассмотренные примеры показывают, что взаимодействие тел может быть как незначительным, так и значительным. Незначительное взаимодействие приводит к малому изменению скорости, а значительное – к большому изменению скорости.

Так же, как инертные свойства тела характеризуют массой, как быстроту движения – скоростью, так и для характеристики взаимодействия тел введена физическая величина. Она называется сила.

Сила – мера взаимодействия тел.

Поэтому мысль о том, что два тела взаимодействуют, можно выразить и такими словами: «Первое тело действует с силой на второе тело, а второе тело действует с силой на первое тело. Чем больше сила, действующая на тело, тем быстрее происходит изменение скорости тела».

**Сила – векторная величина.** Обозначают силу буквой  $F$  (английское слово *force* – сила) и на рисунках изображают в виде стрелки-вектора, приложенной к телу (рис. 24). Направление стрелки-вектора показывает направление силы, действующей на тело.



Рис. 24

### От чего зависит действие силы.



10.1. На открытую дверь подействовали силой. Первый раз – вблизи ручки двери, а второй раз – той же по величине силой, но вблизи петель, на которых крепится дверь. Одинаковыми ли будут результаты действия этих сил?

Опыты показывают, что результат действия силы на тело зависит от величины (модуля) силы, её направления и точки приложения.

**Какие бывают силы.** Рассмотрим несколько примеров. Если бросить мяч, то из-за притяжения Земли он будет изменять свою скорость (рис. 25). Значит, Земля и мяч взаимодействуют. Их взаимодействие характеризуют силой, называемой **силой тяжести**. Сила тяжести направлена вертикально вниз.

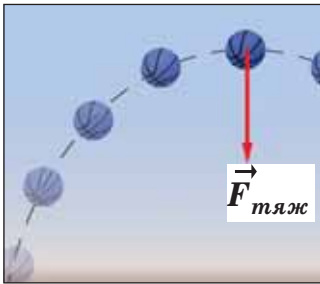


Рис. 25

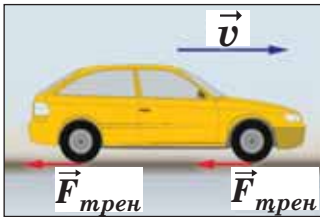


Рис. 26

Растянем тетиву лука. Растянутая тетива лука будет действовать на стрелу, и стрела придёт в движение. Силу, возникающую при растяжении или сжатии тела, называют **силой упругости**. Именно сила упругости возникает при растяжении или сжатии пружины.

Направление силы упругости противоположно направлению сжатия или растяжения тела. Так, пружину, изображённую на рисунке 23, а, растянули влево, а сила упругости, изменяющая скорость тележки, направлена вправо.

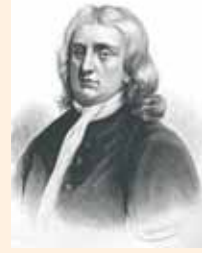
Если на горизонтальном участке дороги водитель выключит двигатель автомобиля, то постепенно скорость автомобиля уменьшится, а затем он и вовсе остановится. Ясно, что в уменьшении скорости движения автомобиля «виноваты» шероховатости дороги. Шероховатая дорога и шины автомобиля взаимодействуют силой, называемой **силой трения** (рис. 26).

Сила, как, например, и скорость, является векторной величиной. Так, сила тяжести направлена к центру Земли. Сила упругости, возникающая при растяжении пружины, направлена в сторону, противоположную растяжению. А сила трения, приводящая к уменьшению скорости движущегося тела, направлена противоположно направлению скорости.



10.2. Что необходимо знать для полной характеристики силы?

**Исаак Ньютон (1643–1727).** Великий английский физик и математик. На могиле Ньютона высечены, в частности, такие слова: «Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, который почти божественной силой своего ума впервые объяснил с помощью своего математического метода движения и формы планет, пути комет, приливы и отливы океана. Он первый исследовал разнообразие световых лучей и проистекающие отсюда особенности цветов, каких до того времени никто не подозревал...»



**Единица измерения силы.** Как и любая физическая величина, сила имеет единицу измерения. **Единица измерения силы названа ньютоном** (сокращённо обозначается Н) в честь выдающегося английского учёного И. Ньютона, являющегося создателем механики – науки о механическом движении. Примерно одному ньютону равна сила тяжести, действующая на груз массой сто граммов. Конечно, при расчётах применяют и другие единицы силы, например, килоньютон (сокращённо обозначается кН):

$$1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н.}$$

**Как измеряют силу.** Для измерения силы используют приборы, называемые динамометрами (в переводе с греческого – силомеры). На рисунке 27 и рисунке 28 изображены лабораторный и демонстрационный динамометры.



10.3. Чему равен предел измерения, цена деления и погрешность измерения динамометров, изображённых на рисунках 27 и 28?

Простейший динамометр (рис. 27) представляет собой пружину 1 и шкалу 2 с нанесёнными на неё делениями в ньютонах. Действие прибора основано на том, что бóльшая сила, действующая на крючок 3 пружины, вызывает и бóльшее растяжение пружины.

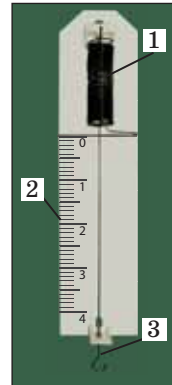


Рис. 27



Рис. 28

**Сила, сила тяжести, сила упругости, сила трения, единица измерения силы – ньютон (Н), динамометр.**



**10.1** ● Приведите примеры, показывающие, что скорость тела изменяется под действием силы. Может ли скорость тела измениться, если на него не действует сила?

**10.2** ● На кита действует сила тяжести  $1200 \text{ кН}$ . Выбрав масштаб в  $1 \text{ см} = 400 \text{ кН}$ , изобразите графически силу тяжести, действующую на кита.

**10.3** ● Растянутая пружина (рис. 23, а) действует на тележку силой упругости  $10 \text{ Н}$ . Выбрав масштаб в  $1 \text{ см} = 5 \text{ Н}$ , изобразите графически силу упругости, действующую на тележку.

**10.4** ● Хоккейная шайба скользит по горизонтальному льду. При этом со стороны льда на шайбу действует сила трения  $0,15 \text{ Н}$ . Выбрав масштаб в  $1 \text{ см} = 0,1 \text{ Н}$ , изобразите графически силу трения, действующую на шайбу.

**10.5** ● Два автомобиля одинаковой массы тормозят на горизонтальной дороге. Первый автомобиль за  $10 \text{ с}$  уменьшает свою скорость на  $20 \text{ м/с}$ , а второй автомобиль за  $5 \text{ с}$  – на  $15 \text{ м/с}$ . На какой автомобиль, по вашему мнению, действует бóльшая сила трения? во сколько раз?

## § 11. СИЛА УПРУГОСТИ. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ УПРУГОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ ТЕЛА»



Натягивай лук по расстоянию до цели.

*Монгольская пословица*

Вы уже знаете, что взаимодействие тел, приводящее к их сжатию или растяжению, характеризуется силой упругости.

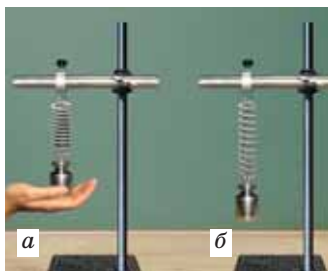


Рис. 29

**Как возникает сила упругости.** Если поднять гирию на некоторую высоту и отпустить, то гирия будет падать на Землю, изменяя (увеличивая) скорость. Это объясняется взаимодействием гири и Земли – на гирию действует сила тяжести.

Но что будет происходить, если гирию подвесить к вертикально расположенной пружине, закреплённой в штативе, и, придерживая рукой, отпустить? Гирия вначале движется вниз, всё больше и больше растягивая пружину, а затем останавливается (рис. 29).



11.1. Почему же гирия остановилась, ведь на гирию по-прежнему действует Земля?



Результаты этого опыта объясняются тем, что гири взаимодействует не только с Землёй, но и с растянутой пружиной. И взаимодействие гири и Земли (сила тяжести) уравновешивается взаимодействием гири и растянутой пружины (силой упругости).

Взаимодействие тяжёлой гири и пружины приводит к растяжению пружины. **Изменение формы и объёма тела в результате его взаимодействия с другими телами называется деформацией тела.**

Возможны различные виды деформаций – сжатие, растяжение, изгиб. Наглядно эти виды деформаций показаны на рисунке 30.

При взаимодействии деформируются оба взаимодействующих тела. Небольшой мешочек с песком опустим на середину полоски фанеры, лежащей горизонтально на двух опорах (рис. 31). В этом случае можно наглядно наблюдать и деформацию мешочка песка, и деформацию полоски фанеры.



Рис. 30



Рис. 31

При деформации тела возникает сила упругости.

Используя тележки и надувные резиновые шары (рис. 32), можно на опыте пронаблюдать образование деформаций и появление за счёт этого сил упругости. Если направить тележки навстречу друг другу, то при столкновении шары деформируются и возникают силы упругости. Это приводит к изменению (уменьшению) скорости тележек до нуля (рис. 32), а затем и к изменению направления скорости. Потом тележки разъезжаются, шары не взаимодействуют, а значит, не деформируются, и силы упругости исчезают (рис. 32).



Рис. 32



11.2. В какой момент при столкновении тележек и деформации шаров (рис. 32) силы упругости имеют, по вашему мнению, наибольшее значение?

**От чего зависит сила упругости.** Для того чтобы выяснить, как зависит сила упругости от величины деформации тела, выполним лабораторную работу.

**Лабораторная работа «Изучение зависимости силы упругости от величины деформации тела»**

**Оборудование:** полоска плоской резины шириной 5–6 мм и длиной 20–25 см, динамометр лабораторный, деревянный брусок, линейка измерительная.

*Ход работы:*

Поперёк полоски резины аккуратно нанесите две метки на расстоянии друг от друга 10–15 см. У одной метки полоску резины прижмите деревянным бруском, а к другому концу полоски прикрепите динамометр (рис. 33, а).

Если теперь отодвигать динамометр, то полоска резины растянется и при её деформации возникнет сила упругости (рис. 33, б). Величину деформации, то есть растяжение  $x$  полоски резины, можно определить, измерив, на сколько миллиметров сместилась метка.

Силу упругости  $F_{упр}$ , возникающую при деформации полоски резины, также легко измерить, ведь она будет равна показанию динамометра.

1. Приготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерения.

Величина растяжения $x$ , мм					
Сила упругости $F_{упр}$ , Н	0	0,5	1,0	1,5	2,0

2. Измерьте значение силы упругости  $F_{упр}$  при различных удлинениях  $x$  полоски резины.

3. По результатам проведённых измерений постройте график зависимости силы упругости  $F_{упр}$  от величины растяжения  $x$ .

Для этого начертите взаимно перпендикулярные вертикальную и горизонтальную оси, обозначив их буквами  $F_{упр}$  и  $x$ .



11.3. Какую из двух величин – силу упругости  $F_{упр}$  или растяжение  $x$  – следует отложить на вертикальной оси графика?

Выберите подходящий масштаб, отметьте точки графика и проведите через них плавную линию.



Рис. 33

**Роберт Гук (1635–1703).** Известный английский естествоиспытатель, учёный-энциклопедист. Открыл закон, устанавливающий зависимость между деформацией твёрдого тела и силой упругости. Изобрёл и улучшил множество приборов. Усовершенствовал микроскоп, установил клеточное строение живых тканей, ввёл в науку термин «клетка».

(Портрет учёного не сохранился. Изображение создано по описаниям его внешности, оставленным современниками.)



4. По результатам лабораторной работы сделайте вывод, как сила упругости  $F_{упр}$  зависит от величины растяжения  $x$ .

Проведённая экспериментальная работа позволяет сделать вывод о том, что сила упругости зависит от величины деформации.

Чем больше величина деформации, тем больше сила упругости.

Эта зависимость была установлена известным английским физиком Р. Гуком и носит название закона Гука.

**Деформация тела;** виды деформации: сжатие, растяжение, изгиб, сдвиг, кручение; **сила упругости, зависимость силы упругости от величины деформации, закон Гука.**

**11.1** ● Каково направление силы упругости, возникающей при деформации пружины (рис. 23, а)?

**11.2** ● Рассмотрите шкалу лабораторного динамометра (рис. 27). Во сколько раз возрастает сила упругости при растяжении пружины динамометра в 2 раза, в 3 раза? Как зависит сила упругости, возникающая при деформации (растяжении) пружины от величины деформации?

**11.3** ● Два спортсмена растягивают одинаковые эспандеры (рис. 34). Кто из них прикладывает к эспандеру большую силу? Ответ обосновать.

**11.4.** На резиновый ластик (желательно больших размеров) нанесите тонким карандашом сетку линий, параллельных сторонам ластика. Используя полученный прибор, продемонстрируйте типы деформаций. Выясните, как меняется расстояние между слоями ластика при различных деформациях.

**11.5.** Выясните на опыте, как сила упругости, возникающая при изгибе упругой линейки, зависит от величины её изгиба.

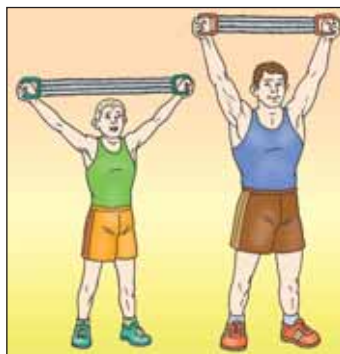


Рис. 34

## § 12. СИЛА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА ТЕЛО, ОТ МАССЫ ТЕЛА»



На гору десять тащат, а под гору само скатится.

*Русская пословица*

Вы уже знаете, что притяжение любого тела к Земле характеризуют силой, называемой силой тяжести.



**Законы природы.** Изменения, происходящие в природе, различные физические явления связаны между собой. Например, явление смены дня и ночи (световое явление) связано с вращением Земли вокруг своей оси (явление механического движения). Изменение скорости груза, прикреплённого к растянутой пружине (явление механического движения), зависит от растяжения пружины (явление деформации). Свет, излучаемый зажжённой спичкой (световое явление), определяется процессами, происходящими при её горении (тепловые явления).

Наиболее характерные связи между явлениями, наиболее важные существенные зависимости получили название **законов природы**. Например, закон взаимодействия тел, который утверждает, что причиной изменения скорости любого тела является действие на него других тел. Законы природы люди не могут ни изменить, ни отменить, в отличие от законов (правил) шахматной игры, законов Олимпийских игр или законов государства. Законы природы не зависят от воли и желаний человека, и единственное, что доступно людям, – это их изучение. Учёные, открыв закон природы, изучают его, выясняют возможные связи этого закона природы с другими. В результате работы учёных возникает описание закона природы на языке науки (словесно и в виде математических формул) – **закон науки**.

**Закон всемирного тяготения – великий закон природы.** Одним из удивительнейших законов, установленных учёными, является то, что **все без исключения тела – от мельчайших частиц до гигантских звёзд – притягиваются друг к другу!** Эту удивительную силу учёные назвали *силой всемирного тяготения*.

Сила всемирного тяготения, с которой два тела притягиваются друг к другу, тем больше, чем больше масса каждого из тел и чем меньше расстояние между телами.

В обычных условиях для тел, массы которых относительно невелики, сила всемирного тяготения так мала, что её действие незаметно. Например, два ученика седьмого класса, сидящие за одной партой, тоже взаимодействуют силой всемирного тяготения. Но эта сила всего лишь равна силе, с которой Земля притягивала бы песчинку массой полграмма, находящуюся от Земли так же далеко, как Луна.

Но в мире звёзд и планет, массы которых огромны, сила всемирного тяготения является основополагающей. Именно благодаря силе всемирного тяготения вокруг нашей планеты Земля вращается её спутник – Луна. При этом, наверное, у вас возник естественный вопрос: «Если Луна и Земля притягиваются друг к другу, то почему же Луна не падает на Землю?» Чтобы ответить на него, проделаем простой опыт. К упругому резиновому шнуру привяжем небольшой груз (рис. 35, а). Оттянем груз вниз и отпустим его. Тогда под действием силы упругости груз «падает» в сторону руки (рис. 35, б). Раскрутим груз, и он будет вращаться вокруг руки, удерживаемый силой упругости (рис. 36).

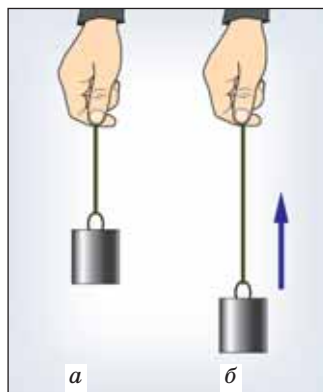


Рис. 35

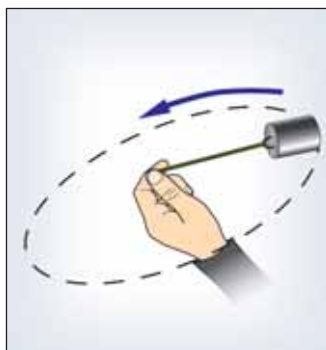


Рис. 36



12.1. Как будет двигаться груз, если резиновый шнур порвется?

Точно так же и неподвижная Луна под действием силы всемирного тяготения упала бы на Землю. Но Луна движется! Поэтому она не падает на Землю, а вращается вокруг неё, удерживаемая всё той же силой всемирного тяготения.

Действие силы всемирного тяготения на нашу планету со стороны Солнца – ближайшей звезды – приводит к тому, что Земля вращается вокруг Солнца, делая один оборот за год.



12.2. Какие ещё планеты Солнечной системы вам известны?

На другие планеты со стороны Солнца также действует сила всемирного тяготения, и они вращаются вокруг Солнца, образуя вместе со своими спутниками и другими телами Солнечную систему.



**Происхождение и состав Солнечной системы.** По современным научным представлениям Солнечная система образовалась 4,5–5 млрд лет тому назад из холодной газовой-пылевой туманности. Основная часть вещества туманности под действием сил всемирного тяготения образовала звезду – Солнце. По массе современное Солнце тяжелее Земли в 330 000 раз, общая масса всех планет Солнечной системы составляет всего 0,1 % от массы Солнца. По размеру Солнце больше Земли в 109 раз.



Рис. 37

Схема<sup>1</sup> нашей Солнечной системы показана на рис. 37. Этот рисунок изображает Солнечную систему без соблюдения масштаба и не отражает верно соотношение расстояний между планетами. (Иначе схема Солнечной системы не уместилась бы на странице учебника.)

Из остатков газовой-пылевой туманности и вещества образовались планеты и их спутники. Объединение твёрдых частиц в планеты заняло более 100 млн лет. На момент формирования планет плотность, температура и химический состав вещества туманности были неодинаковы на различных расстояниях от Солнца. По этой причине образовались два вида планет – *планеты земной группы* и *планеты-гиганты* (рис. 38). К планетам земной группы относятся Меркурий, Венера, Земля, Марс, к планетам-гигантам – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.



12.3. Почему планеты земной группы часто называют внутренними планетами, а планеты-гиганты – внешними?

Планеты-гиганты отличаются от планет земной группы тем, что они находятся дальше от Солнца, имеют большую массу и размеры, иной химический состав, меньшую плотность вещества. Вокруг планет-гигантов вращаются десятки спутников, а также кольца, состоящие из множества частиц и глыб.

<sup>1</sup> Схема – упрощённое изображение чего-либо.



Между Марсом и Юпитером, там, где сила тяготения со стороны Юпитера препятствовала образованию крупной планеты, возник пояс *астероидов* – малых тел Солнечной системы. К настоящему времени обнаружены сотни тысяч астероидов.

Сталкиваясь, астероиды дробятся, и отдельные обломки астероидов в итоге достигают Земли. Упавшие на поверхность Земли космические тела называют *метеоритами*. При ударе крупного метеорита образуется кратер.

На границе Солнечной системы со времен её образования сохранились остатки «строительного материала» в виде смеси замёрзших газов, металлических и каменных частиц. Под действием сил притяжения со стороны планет-гигантов глыбы этого «первичного» вещества размером до нескольких десятков километров втягиваются во внутренние области Солнечной системы. Такие космические тела называют *кометами*. Приближаясь к Солнцу, вещество кометы испаряется и за ней образуется след – хвост кометы. Чем ближе комета к Солнцу, тем сильнее она прогревается, тем больше хвост кометы. Сделав оборот вокруг Солнца, комета удаляется, постепенно «угасает», чтобы вернуться вновь через годы, десятки или сотни лет.

Небольшие остатки кометного вещества массой в несколько миллиграммов, попав в атмосферу Земли, имеют скорость до 70 км/с. При такой скорости движения частицы раскаляются так, что возникает кратковременная вспышка. Это явление называют *метеором*. Образно метеоры ещё называют «падающими звёздами», хотя, конечно же, они никакого отношения к звёздам не имеют (рис. 39).



Рис. 38

*a* – планета Меркурий;  
*б* – поверхность Марса;  
*в* – планета Юпитер;  
*г* – планета Сатурн и кольца Сатурна



Рис. 39

*a* – комета Галлея 8 марта 1986 г. Очередное возвращение кометы – 2061 г.;  
*б* – метеорный поток

Между звёздами, хотя они и находятся на гигантских расстояниях друг от друга, также действуют силы всемирного тяготения. Миллиарды (!) звёзд образуют звёздные скопления – галактики, удерживаемые от распада силами всемирного тяготения. Многие галактики, в том числе и та, в которую входит наша Солнечная система, имеют форму диска (рис. 40, *a*). Центральную часть галактического диска образует ядро, содержащее огромное число звёзд, а далее располагаются спиральные ветви, состоящие из звёзд и газовых облаков. Галактики вращаются, совершая один полный оборот за сотни миллионов лет.

Астрономы обнаружили множество различных галактик и выяснили, что и между галактиками действует эта удивительная властвующая во Вселенной сила – сила всемирного тяготения (рис. 40, *б*).

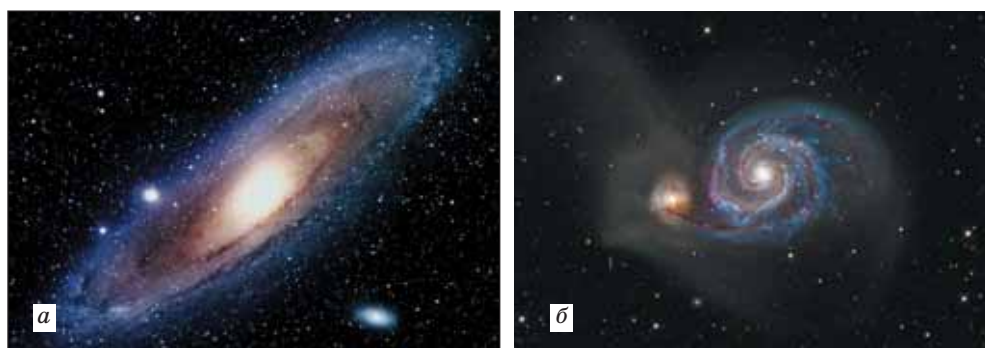


Рис. 40



**Сила тяжести.** Частным случаем силы всемирного тяготения, как вы уже знаете, является сила, действующая на все тела со стороны Земли, – сила тяжести. Выясним, как зависит сила тяжести от массы тела. Для этого выполним лабораторную работу.

**Лабораторная работа «Изучение зависимости силы тяжести, действующей на тело, от массы тела»**

**Оборудование:** динамометр лабораторный, набор стограммовых грузов.

*Ход работы:*

1. Начертите в тетради таблицу для записи результатов измерений:

Масса тела $m$ , кг						
Сила тяжести $F_{тяж}$ , Н						

2. Прикрепите к крючку динамометра поочерёдно один, два, три, четыре стограммовых груза и в каждом случае измерьте силу тяжести, действующую на тело. Результаты измерений занесите в таблицу.

3. Используя результаты проведённых измерений, постройте график зависимости силы тяжести, действующей на тело, от массы тела. Для этого начертите взаимно перпендикулярные вертикальную и горизонтальную оси, обозначив их буквами  $F_{тяж}$  и  $m$ .



12.4. Какую из двух величин – силу тяжести  $F_{тяж}$  или массу тела  $m$  – следует отложить на вертикальной оси графика?

Выберите масштаб, отметьте точки графика и проведите через них плавную линию.

4. Сделайте вывод, как зависит сила тяжести  $F_{тяж}$  от массы тела  $m$ .

Результаты проведённых опытов убеждают, что сила тяжести, действующая на тело, тем больше, чем больше масса тела. Причём при увеличении массы тела в два, три, четыре раза сила тяжести увеличивается во столько же раз.

Сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна массе тела.

**Вычисление силы тяжести.** Зависимость силы тяжести, действующей на тело, от массы тела математически записывается в виде

$$F_{тяж} \sim m.$$

(Знак « $\sim$ » – это знак прямо пропорциональной зависимости.)

Для того чтобы записать это математическое выражение в виде равенства, необходимо ввести коэффициент пропорциональности между силой тяжести  $F_{тяж}$  и массой тела  $m$ .

Обозначим коэффициент пропорциональности буквой  $g$  (читается: *же*). Тогда

$$F_{тяж} = mg.$$

Эта формула позволяет рассчитать силу тяжести, действующую на тело со стороны Земли. Для расчёта необходимо знать массу тела  $m$  и численное значение коэффициента пропорциональности  $g$ . Коэффициент пропорциональности  $g$  показывает, какая сила тяжести действует на тело массой 1 кг. Коэффициент  $g$  можно определить, используя значения силы тяжести, измеренные вами в лабораторной работе. Так, например, на тело массой 0,3 кг (три стограммовых груза) действует сила около 3 Н.

$$F_{тяж} = mg.$$

$$mg = F_{тяж}.$$

$$g = \frac{F_{тяж}}{m}.$$

$$g = \frac{3 \text{ Н}}{0,3 \text{ кг}}.$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}.$$

Более точные измерения, проведённые учёными, дают значение коэффициента  $g$ , равное 9,8 Н/кг.

Учёные также выяснили, что значение коэффициента  $g$  неодинаково в различных географических точках на поверхности Земли.



12.5. Почему в районах крупных рудных месторождений значение коэффициента  $g$  больше, чем 9,8 Н/кг?

12.6. Как вы считаете, значение коэффициента  $g$  на большой высоте над Землёй будет таким же, что и на поверхности Земли, или другим?

Учёные определили, чему равен коэффициент  $g$  на поверхности других планет Солнечной системы. Так, для самой большой планеты Юпитер он равен 23,5 Н/кг, а на поверхности самой малой планеты Меркурий – 3,7 Н/кг. Ещё меньше значение коэффициента на малых телах Солнечной системы – астероидах. (Астероиды расположены между Марсом и Юпитером.) На самом крупном астероиде (его размер около 600 км) коэффициент  $g$  меньше 1 Н/кг. Представьте, груз какой большой массы смог бы поднять астронавт, если бы он оказался на этом астероиде!

Законы природы, **закон всемирного тяготения, сила всемирного тяготения**, Солнечная система, планеты и малые тела Солнечной системы, галактики, **сила тяжести**,  $F_{тяж} = mg$ ,  $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ .

- 12.1** ● Определите силу тяжести, которая действует на человека массой 48 кг. Ответ приведите в ньютонах и килоньютонах. Изобразите вектор силы, выбрав масштаб в 1 см 100 Н.
- 12.2** ● Масса книги 600 г. Вычислите силу тяжести, действующую на книгу. Изобразите вектор силы, выбрав масштаб в 1 см 2 Н.
- 12.3** ● Какова масса гири, прикреплённой к динамометру (рис. 28)?
- 12.4** ● На Марсе на шестнадцатикилограммовую гирю действовала бы сила тяжести 61 Н. Чему равен коэффициент  $g$  на Марсе?
- 12.5** ● Коэффициент  $g$  на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле. Почему?

### § 13. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДИНАМОМЕТРА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ»



Измерять то, что измеряемо, и постараться сделать измеряемым то, что ещё не является таковым.

*Галилео Галилей (1564–1642),  
великий итальянский физик и астроном,  
один из основателей экспериментальной физики*

Вы уже знаете, что для измерения силы используют приборы – динамометры.

**Оборудование:** динамометр лабораторный, лист бумаги, набор стограммовых грузов, штатив лабораторный с принадлежностями, тела различной массы от 0,1 до 0,4 кг.

**Ход работы:**

Для изготовления динамометра можно использовать пружину, которую необходимо снабдить измерительной шкалой. На шкале отмечают начальное (нулевое) и наибольшее значения измеряемой силы. Шкала делится на промежутки – деления, так чтобы одно деление соответствовало бы некоторому значению силы. Такие действия по изготовлению измерительной шкалы называют **градуировкой прибора**.

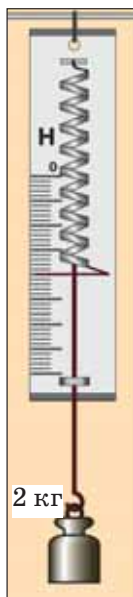


Рис. 41



**Задание 1.** Изготовление динамометра. Оберните заводскую шкалу лабораторного динамометра листом бумаги и закрепите его. На этот лист бумаги вам необходимо будет самостоятельно нанести шкалу динамометра с ценой деления 0,2 Н. Для этого отметьте начало шкалы – 0 Н. Затем, подвешивая поочередно к крючку пружины один, два, три, четыре стограммовых груза, отметьте на шкале значения, соответствующие силе в 1, 2, 3, 4 Н.

С помощью линейки разделите деления динамометра в 1 Н на дополнительные деления так, чтобы цена деления прибора была равна 0,2 Н.

После завершения градуировки прибора покажите ваш динамометр преподавателю и, если необходимо, устраните недостатки.



**Задание 2.** Проведение измерений с помощью изготовленного динамометра. Используя изготовленный вами динамометр, определите массу различных тел. Данные занесите в таблицу:

№	Тело	Сила тяжести, действующая на тело $F_{тяж}$ , Н	Масса тела $m$ , кг



**Задание 3.** К динамометру подвесьте два или три стограммовых груза. Поднимите динамометр резко вверх, опустите динамометр резко вниз. Как меняется показание динамометра? От чего зависит изменение показаний динамометра? Попробуйте объяснить наблюдаемые явления.

**Задание 4.** С помощью изготовленного вами динамометра с пределом изменений 4 Н определите массу тела, если она больше 0,4 кг, но меньше 0,8 кг.

### Градуировка прибора.

**13.1** ● Какая сила будет действовать на крюк подъёмного строительного крана, удерживающего в воздухе бетонную плиту массой 1,4 т?

**13.2** ● К вертикально расположенному лабораторному динамометру прикрепили груз массой 350 г. Чему равна сила упругости, возникшая при деформации пружины динамометра?

**13.3** ● К динамометру (рис. 41) подвешен груз в 2 кг. Определите цену деления прибора. Какой наибольшей массы груз можно прикрепить к пружине динамометра, не опасаясь испортить прибор?

**13.4** На рис. 42 показан график зависимости силы упругости  $F_{упр}$ , возникающей при растяжении пружины, от величины её растяжения  $x$ . Какой предел измерений удобно выбрать для динамометра с этой пружиной? Ответ обосновать.



**13.5.** Изготовьте динамометр. В качестве упругого элемента прибора можно использовать полоску резины.

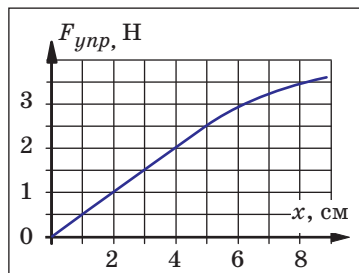
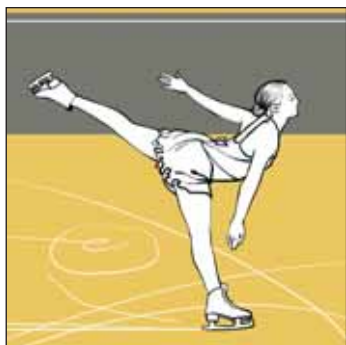


Рис. 42

## § 14. СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ»



Несмазанное колесо ось перетрёт.

*Узбекская пословица*

Вы уже знаете, что помимо силы упругости и силы тяжести существует ещё и сила трения.

### При каких условиях возникает сила трения

**скольжения.** Рассматривая взаимодействие тел, мы выяснили: если на тело действует сила, то тело обязательно изменяет свою скорость. (Приведите примеры, подтверждающие этот научный факт).

Проведем опыт (рис. 43). К деревянному бруску прикрепим пружину и, потянув за пружину, приведем брусок в движение по поверхности стола. При некотором растяжении пружины брусок будет двигаться равномерно. Хотя на брусок со стороны деформированной пружины действует определённая сила упругости, брусок скользит по поверхности стола с постоянной скоростью!



14.1. Почему брусок не изменяет скорость, ведь на него действует сила – сила упругости?

Это объясняется тем, что при скольжении бруска на него действует ещё одна сила – сила трения скольжения (со стороны стола). Сила трения скольжения возникает при зацеплении и изгибе шероховатостей, имеющих на поверхности бруска и поверхности стола (рис. 44). Направлена сила трения скольжения всегда против движения тела и, значит, препятствует его движению.

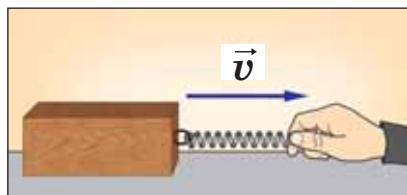


Рис. 43

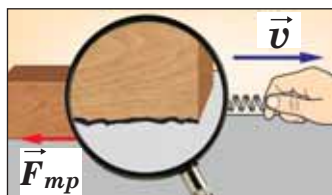


Рис. 44

**От чего зависит сила трения скольжения.** Для более подробного изучения силы трения скольжения выполним лабораторную работу.

### Лабораторная работа «Изучение силы трения скольжения»

**Оборудование:** динамометр лабораторный, набор стограммовых грузов, деревянный брусок, каток, доска (или деревянная линейка).

**Ход работы:**

К деревянному бруску, «утяжелённому» стограммовыми грузами, прикрепим лабораторный динамометр и, двигая динамометр горизонтально, приведём брусок в равномерное движение по поверхности доски (линейки). В этом случае на брусок в горизонтальном направлении будут действовать две силы (рис. 45). Одна сила – это сила упругости, возникающая при деформации пружины динамометра (величина силы равна показанию прибора). Вторая сила – сила трения скольжения, возникающая при скольжении бруска по поверхности доски (линейки). При равномерном движении эти силы уравнивают друг друга. Тем самым численное значение силы трения скольжения равно значению силы упругости, то есть показанию динамометра.



**Задание 1.** Изучение зависимости силы трения скольжения от силы давления. Возьмите динамометр, прикрепите к крючку динамометра деревянный брусок и поочерёдно прикрепите один, два или три стограммовых груза (рис. 46). Тем самым вы измерите силу давления, то есть ту силу, с которой брусок, «утяжелённый» грузами, будет действовать на поверхность доски.

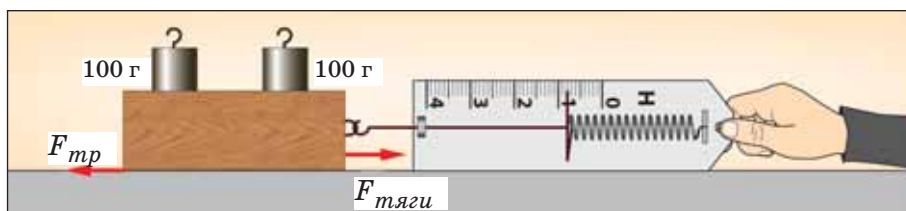




Рис. 45

Измерьте силу трения скольжения. Результаты измерений занесите в таблицу. Сделайте вывод, зависит ли сила трения скольжения от силы давления, с которой брусок действует на поверхность доски.

*Примечание.* Каждое измерение силы трения скольжения проводите три-четыре раза и заносите в таблицу среднее значение измеренной силы.

Номер опыта	Число грузов	Сила давления бруска с грузами, Н	Сила трения, Н
1	1		
2	2		

 **Задание 2.** Изучение зависимости силы трения скольжения от качества обработки и рода соприкасающихся поверхностей. Располагая брусок с двумя или тремя грузами на деревянной доске с гладкой или шероховатой поверхностью, измерьте силу трения скольжения. Также измерьте силу трения скольжения по поверхности листа бумаги.

 **Задание 3.** Выясните, зависит ли величина силы трения скольжения от площади соприкосновения тел. Располагая брусок с двумя-тремя грузами на деревянной доске вначале широкой, а затем узкой сторонами, измерьте силу трения скольжения.

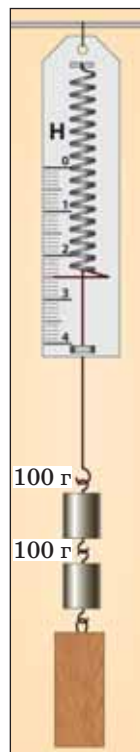


Рис. 46

Опыт показывает, что величина силы трения скольжения зависит от того, как сильно прижаты друг к другу скользящие тела. **Чем больше сила, с которой брусок действует на поверхность, тем больше и сила трения.** При увеличении силы давления в два, в три раза сила трения скольжения увеличивается во столько же раз.

**Зависит сила трения и от того, как обработаны соприкасающиеся поверхности.** Если поверхности сделать менее шероховатыми, то и сила трения скольжения уменьшится. На первый взгляд кажется, что если скользящие поверхности сделать очень гладкими, то и сила трения скольжения будет очень маленькой. Но на самом деле это не так. Вспомните, как трудно двигать гладкое стекло по поверхности полированного стола или другого стекла. Оказывается, при очень гладких поверхностях частицы, из которых состоят тела, будут расположены так близко, что начнут притягиваться. Это мешает взаимному перемещению тел, а значит, сила трения, препятствующая движению, не исчезнет.



**Зависит сила трения и от рода соприкасающихся поверхностей.** Например, при прочих равных условиях сила трения «дерево по резине» больше, чем сила трения «дерево по дереву» или «дерево по железу».

**От площади соприкосновения тел сила трения практически не зависит.**

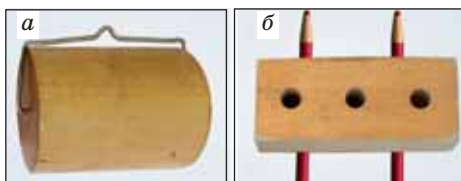


Рис. 47



Рис. 48

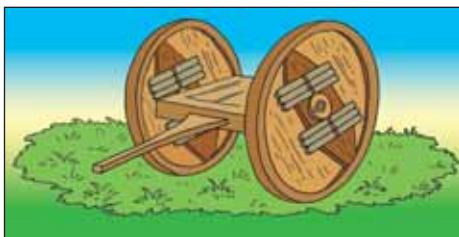


Рис. 49

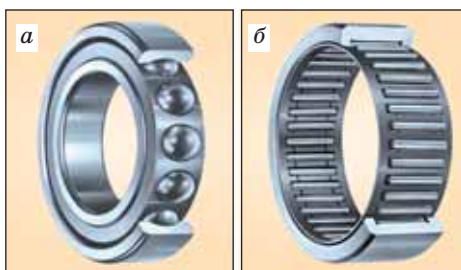


Рис. 50

Сравним силу трения скольжения и силу трения качения. Для этого используем деревянный каток (рис. 47, а) или деревянный брусок, положенный на два круглых карандаша (рис. 47, б). Опыт показывает, что при равных нагрузках сила трения качения значительно меньше силы трения скольжения. Поэтому ещё в Древнем Египте строители пирамид при перемещении многотонных каменных глыб подкладывали под них куски брёвен – катки (рис. 48). Одним из самых важных достижений древности было изобретение колеса. Первые колёса были сделаны в Месопотамии (современный Ирак) более пяти тысяч лет тому назад (рис. 49).

**Как уменьшить силу трения скольжения.** Для уменьшения силы трения в различных машинах и механизмах применяют *подшипники*. Чаще всего это подшипники качения. В них стальные шарики (шариковые подшипники) или ролики (роликовые подшипники) катятся по канавкам колец, поставленных между вращающимся валом и неподвижной опорой (рис. 50, а, б).



14.2. По какой причине применение подшипников уменьшает силу трения в машинах и механизмах?



Ещё одним способом уменьшения трения является *применение смазки*. Если ввести слой смазки между трущимися поверхностями (в технике чаще всего для этого используют специальные масла), то тогда детали механизмов не скользят друг по другу, а «плывут» по слою смазки. При этом сила трения уменьшается во много раз. Сказанное легко проверить следующим опытом (рис. 51): если деревянный брусок поместить в сосуд с водой, то брусок легко привести в движение даже слабым дуновением.



Рис. 51



14.3. Почему коньки легко скользят по льду?

**Сила трения скольжения, зависимость силы трения скольжения от величины силы, с которой тело действует на поверхность, и от качества обработки соприкасающихся поверхностей, сила трения качения, подшипники, смазка.**

**14.1** ● Положите монетку на горизонтальную поверхность стола. Щёлкните по монетке и наблюдайте её движение. Объясните, почему скорость монетки при движении по столу уменьшается. Направление вектора скорости монетки в некоторый момент времени показано на рисунке 52. Как направлен вектор силы трения скольжения?

**14.2** ● Санки перемещают по горизонтальной дороге, прикладывая к ним силу 120 Н, направленную вдоль дороги. Чему равна сила трения скольжения, действующая на санки, если они движутся равномерно со скоростью 1,2 м/с?

**14.3** ● Почему медицинские иглы полируют до зеркального блеска?

**14.4** ● Зачем некоторые мастера смазывают мылом шуруп перед тем как ввинтить его в скрепляемые детали?

**14.5** ● На заднем стекле некоторых автомобилей имеется знак «Шипы» (рис. 53, а). Что он означает и о чём предупреждает водителей других автомобилей?

Перед участком дороги с повышенной скользкостью проезжей части устанавливают специальный предупреждающий знак «Скользкая дорога» (рис. 53, б). Какие действия должен предпринять водитель, увидев такой знак? Почему вне населённых пунктов знак устанавливается на расстоянии 150–300 м от опасного участка?



Рис. 52

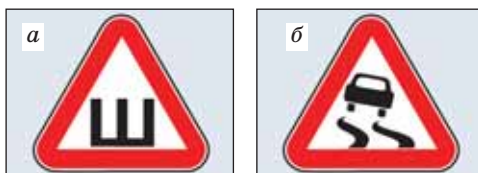


Рис. 53

### § 15. СИЛА ТРЕНИЯ ПОКОЯ. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ ПОКОЯ»



Посадил дед репку. Выросла репка большая-пре-большая. Пошёл дед репку рвать. Тянет-потянет, вытянуть не может.

«Репка», русская народная сказка

Вы уже знаете, при каких условиях возникает сила трения скольжения.

**При каких условиях возникает сила трения покоя.** Вернёмся к опыту, который рассматривался в предыдущем параграфе (рис. 43). К деревянному бруску прикрепим пружину и немного растянем её. Деформированная пружина действует на брусок с некоторой силой упругости, но брусок не движется, остаётся в покое. Вы, конечно, уже догадались, что сила упругости пружины уравновешена силой, возникшей при деформации шероховатой поверхности бруска и поверхности стола (рис. 44). Эту силу трения называют *силой трения покоя* (ведь тело не движется).

Сила трения покоя – это сила, возникающая при попытке выведения тела из состояния покоя.



Рис. 54

Сила трения покоя очень важна в повседневной жизни. Ведь именно благодаря этой силе – силе трения покоя – предметы не выскальзывают из рук, не развязываются шнурки на ботинках, снег не соскальзывает со склонов гор, а карандаш или ручка – с листа бумаги при рисовании или письме. Только благодаря существованию силы трения покоя возможно движение людей, автомобилей. Если бы при ходьбе не возникала сила трения покоя, действующая на подошву обуви со стороны поверхности земли, то ноги бы проскальзывали. Тогда человек не мог бы оттолкнуться от земли и двигаться (рис. 54).

Обратите внимание – *сила трения покоя направлена в сторону движения*, увеличивает скорость пешехода. Вспомните, как трудно передвигаться зимой в гололёд, когда сила трения покоя мала.



15.1. По какой причине зимой следует посыпать пешеходные тротуары и перекрёстки дорог песком?

При работе двигатель автомобиля вращает колёса (передние или задние). Колёса соприкасаются с покрытием дороги, и возникает сила трения покоя. Эта сила препятствует проскальзыванию колёс и приводит автомобиль в движение (рис. 55). И в этом случае сила трения покоя направлена в сторону движения. Если же сила трения покоя мала, то колёса проскальзывают, как говорят, «машина буксует» и автомобиль не движется.

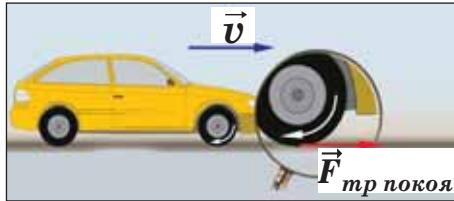


Рис. 55



15.2. Почему водители автомобилей стараются не использовать так называемую «лысую» резину?

**От чего зависит сила трения покоя.** Ещё одна особенность силы трения покоя, о которой обязательно нужно знать, – **величина силы трения покоя зависит от величины силы, стремящейся привести тело в движение.** Действительно, если в опыте (рис. 43) пружина не деформирована, то сила упругости, действующая на брусок, равна нулю. Тогда и сила трения покоя, уравновешивающая силу упругости, тоже равна нулю. Если пружину растянуть, сила упругости возрастает; на такую же величину возрастает и сила трения покоя. Так продолжается до тех пор, пока сила трения покоя не достигает своего наибольшего (максимального) значения. Если сила упругости, действующая на брусок, ещё больше увеличивается, то тогда даже максимально возможная сила трения покоя не может уравновесить эту силу. Брусок придёт в движение. При этом вместо силы трения покоя на тело действует сила трения скольжения.

Эту особенность силы трения покоя хорошо иллюстрирует русская народная сказка «Репка» (рис. 56).

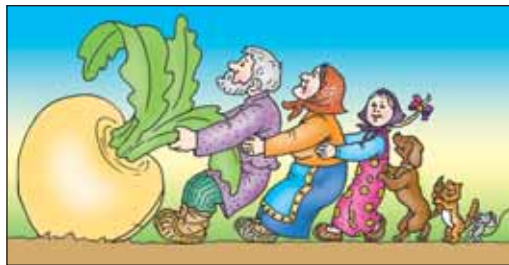


Рис. 56

Вспомните, для того, чтобы вытянуть репку, то есть преодолеть действующую на репку силу трения покоя, потребовались одновременные усилия не только дедки, бабки, внучки и Жучки, но и кошки, и мышки. И только общая сила, приложенная всей командой, позволила преодолеть максимальную силу трения покоя и выдернуть репку.

Интересно, что сила трения скольжения, как показывают опыты, немного меньше максимальной силы трения покоя. Приходилось ли вам передвигать тяжёлые предметы (ящики, коробки, шкафы)? Если да, то вы, вероятно, замечали, что самое трудное – сдвинуть предмет. А дальше двигать его легче.

Познакомимся с особенностями силы трения покоя на опыте.

### Лабораторная работа «Изучение силы трения покоя»

*Оборудование:* динамометр лабораторный, набор стограммовых грузов, деревянный брусок, доска (или деревянная линейка).

*Ход работы:*



**Задание 1.** Выясните, как зависит величина силы трения покоя от силы тяги, действующей на брусок со стороны пружины динамометра.



**Задание 2.** Выясните, как зависит максимальная сила трения покоя от силы давления, с которой брусок действует на поверхность доски.



**Задание 3.** Выясните, зависит ли максимальная сила трения покоя от качества обработки и рода соприкасающихся поверхностей.



**Задание 4.** Выясните, отличается ли максимальная сила трения покоя от силы трения скольжения и, если да, то насколько.

Лабораторная работа позволяет сделать несколько выводов:

– При увеличении силы тяги, действующей на тело, сила трения покоя возрастает до тех пор, пока не достигнет максимального значения.

– Максимальная сила трения покоя становится больше, если увеличивается сила давления, с которой тело действует на поверхность.

**Сила трения покоя; зависимость силы трения покоя от величины силы, стремящейся привести тело в движение.**

**15.1** ● Напишите сочинение на тему «Что было бы, если бы не было силы трения покоя». В сочинении следует указать причины возникновения силы трения, отличие трения скольжения от трения покоя. Необходимо привести примеры проявления силы трения покоя в природе, технике, быту и к каким последствиям привело бы её исчезновение.

**15.2** ● Из-за неровности пола поверхности столов всегда немного наклонены. (Проверьте это, положив на стол шарик.) Что же удерживает предметы, находящиеся на столе?

**15.3** ● О неуклюжем человеке говорят, что он передвигается, «как корова на льду». Поясните смысл этого выражения.

**15.4** ● Зачем на шинах автомашин, колёсных тракторов делают глубокий рельефный рисунок – протектор (рис. 57)?

**15.5** ● Когда требуется сдвинуть с места очень тяжёлый предмет, то рабочие нередко делают это под слова: «Раз, два, взяли!» Почему отпадает необходимость в такой команде, когда предмет уже приведён в движение?



Рис. 57

## §16. СЛОЖЕНИЕ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ПО ОДНОЙ ПРЯМОЙ



Много рук поднимут и тяжёлую ношу.

*Литовская пословица*

Вы уже умеете измерять силы, действующие на тело.

**Равнодействующая сила.** Сила – физическая величина, являющаяся мерой взаимодействия двух тел. Но в большинстве случаев, с которыми мы встречаемся при изучении физических явлений, тело взаимодействует не с одним, а сразу с несколькими телами. Например, птица в полёте испытывает притяжение Земли и взаимодействует с воздухом, от которого отталкивается крыльями. Если на брусок, расположенный на столе (рис. 58), поставить гирю, то брусок будет взаимодействовать с Землёй (сила  $F_1$ ), поверхностью стола (сила  $F_2$ ) и гирей (сила  $F_3$ ).

Иными словами, чаще всего на тело действует не одна, а сразу несколько сил. К примеру, на Луну помимо силы всемирного тяготения со стороны Земли действуют силы со стороны Солнца и других небесных тел. На груз, прикрепленный к пружине, действует и сила тяжести, и сила упругости.

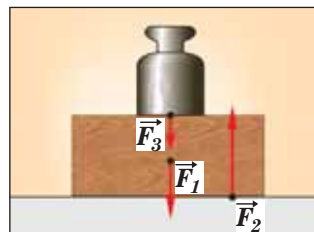


Рис. 58



16.1. Приведите примеры, когда на тело действуют несколько сил.

Выясним, какое действие будут производить несколько сил, приложенных к телу одновременно. Ещё раз обратимся к сказке «Репка» (см. рис. 56). Допустим, дедка действует на репку с силой  $F_1 = 20$  Н (число условно), а бабушка, внучка, Жучка, кошка и мышка – с силами, равными соответственно 10, 5, 3, 2 и 1 Н (рис. 59).

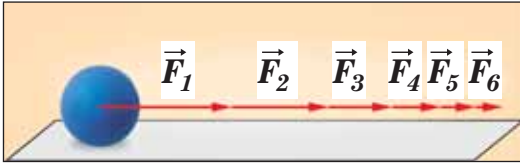


Рис. 59

$$F_1 = 20 \text{ Н.}$$

$$F_2 = 10 \text{ Н.}$$

$$F_3 = 5 \text{ Н.}$$

$$F_4 = 3 \text{ Н.}$$

$$F_5 = 2 \text{ Н.}$$

$$F_6 = 1 \text{ Н.}$$

Легко вычислить, что в этом случае общая сила  $F$ , действующая на репку, равна

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6.$$

$$F = 20 \text{ Н} + 10 \text{ Н} + 5 \text{ Н} + 3 \text{ Н} + 2 \text{ Н} + 1 \text{ Н} = 41 \text{ Н.}$$

В физике эту общую силу  $F$  называют *равнодействующей силой*. Она одна производила бы на тело такое же (равное) действие, как и несколько сил, реально действующих на тело.

**Определение равнодействующей силы.** Рассмотренный пример позволяет сформулировать правило сложения сил, направленных по одной прямой.

Если на тело действует две силы, направленные по одной прямой в одну сторону, то равнодействующая сила направлена в ту же сторону. Модуль равнодействующей силы равен сумме модулей сил.

$$F = F_1 + F_2.$$



Рис. 60

Когда же силы, действующие на тело, направлены в противоположные стороны вдоль одной прямой (рис. 60), правило вычисления равнодействующей силы формулируется иным образом.

Если на тело действует две силы, направленные по одной прямой в противоположные стороны, то равнодействующая сила направлена в сторону большей по модулю силы. Модуль равнодействующей силы равен разности модулей сил.

$$F = F_1 - F_2.$$



**Опыты по проверке правил сложения сил.**

**Оборудование:** динамометры лабораторные – два, набор стогаммовых грузов, нить.

**Задание 1.** Проверка правила сложения сил (случай одинаково направленных сил). К крючку динамометра прикрепите один или два груза (рис. 61). На пружину динамометра будет действовать сила  $F_1$ . Если теперь к нижнему грузу прикрепить ещё один динамометр и подействовать вниз силой  $F_2$ , то верхний динамометр покажет значение равнодействующей силы  $F$ . Проведите несколько измерений и занесите полученные данные в таблицу:

№	Сила $F_1$ , Н	Сила $F_2$ , Н	Равнодействующая сила $F$ , Н

Сделайте чертёж, укажите силы  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F$  в масштабе 1 см – 1 Н. Сделайте вывод, можно ли в этом случае равнодействующую силу рассчитать по формуле

$$F = F_1 + F_2.$$

**Задание 2.** Проверка правила сложения сил (случай противоположно направленных сил). К крючку динамометра прикрепите три-четыре груза. На пружину динамометра будет действовать сила  $F_1$ . Теперь к крючку динамометра прикрепите нить, пропустив её через витки пружины динамометра (рис. 62). Если к верхнему концу нити прикрепить динамометр и потянуть нить вверх, то тогда верхний динамометр покажет значение силы  $F_2$ , а нижний – значение равнодействующей  $F$ . Проведите несколько измерений и занесите полученные данные в таблицу:

№	Сила $F_1$ , Н	Сила $F_2$ , Н	Равнодействующая сила $F$ , Н

Сделайте чертёж, укажите силы  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F$  в масштабе 1 см – 1 Н. Сделайте вывод, можно ли в этом случае равнодействующую силу рассчитать по формуле

$$F = F_1 - F_2.$$

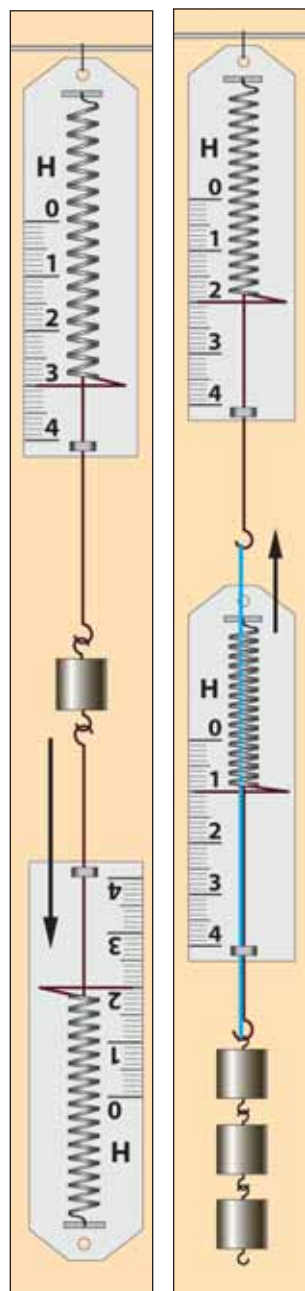


Рис. 61

Рис. 62



В заключение отметим, что сформулированные правила нахождения равнодействующей силы применимы только когда силы, действующие на тело, направлены вдоль одной прямой. Как рассчитать равнодействующую силу, если силы, действующие на тело, не направлены вдоль одной прямой? Ответ на этот вопрос вы узнаете при изучении физики в старших классах.

**Равнодействующая сила,  $F = F_1 + F_2$  или  $F = F_1 - F_2$ .**



Рис. 63



Рис. 64



Рис. 65

**16.1** ● «Муха села на варенье...» Определите, с какой силой варенье действует на лапки мухи, если её масса 0,5 г.

**16.2** ● Спортсмен спускается на парашюте, двигаясь равномерно. Сила тяжести, действующая на парашютиста вместе с парашютом, равна 800 Н. Чему равна сила сопротивления воздуха?

**16.3** ● Буксирный теплоход-толкач, развивающий силу 70 кН, должен обеспечить равномерное движение барже, сопротивление воды для которой 52 кН (рис. 63). Какое сопротивление воды может испытывать сам буксирный теплоход, чтобы такое движение было возможно?

**16.4** ● На проволоке подвешен груз массой 5 кг (рис. 64). Снизу к грузу на нити прикрепляют гирию массой 2 кг.

Определите силу натяжения нити и проволоки.

**16.5** ● В басне И. А. Крылова «Лебедь, Щука и Рак» говорится:

«Однажды Лебедь, Рак да Щука  
Вести с поклажей воз взялись, ...  
Поклажа бы для них казалась и легка:  
Да Лебедь рвётся в облака,  
Рак пятится назад, а Щука тянет в воду...»

Можно ли в этом случае (рис. 65) определить равнодействующую силу, используя правила, сформулированные в этом параграфе?

## Самое важное в разделе «Механическое движение. Силы в природе»

1. Механическое движение – самое распространённое физическое явление.

2. Быстрота механического движения характеризуется скоростью.  $\longrightarrow$   
При равномерном движении

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

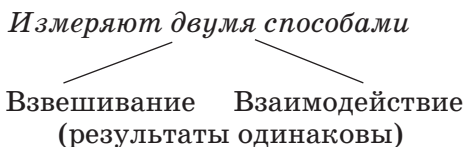
Следует помнить, что  $36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с}$ .

3. Скорость тела изменяется при его взаимодействии с другими телами.

4. Сила – мера взаимодействия тел.  $\longrightarrow$



5. Масса – мера инертных свойств тела.



**II.1.** Определите свою среднюю скорость при беге на 100 м.

**II.2** ● Какое физическое свойство тел, вероятно, учитывают, подразделяя боксёров на отдельные весовые категории?

**II.3** ● Если камень бросить вверх, то на него и в полёте будет действовать сила тяжести. Почему же, несмотря на это, камень некоторое время движется вверх, удаляясь от Земли?

**II.4** ● На столе лежат стопкой пять одинаковых книг. Что легче: сдвинуть четыре верхних или вытянуть из стопки третью сверху книгу? Считать, что трение между нижней книгой и столом велико и в обоих случаях нижняя книга не смещается. Ответ обосновать.

**II.5** ● Камень брошен вертикально вверх. Что больше: время подъёма камня или время его падения? Ответ обосновать. (Подсказка. Учесть сопротивление воздуха.)

## P. S.



Завершено изучение раздела «Механическое движение. Силы в природе». Узнали вы немало, но следует иметь в виду, что очень много важных и интересных вопросов не рассматривалось (и даже не упоминалось).

– Не выяснено, как рассчитать путь, пройденный телом при его неравномерном движении.

– Не выяснено, по какой причине могут различаться массы тел одинакового размера.

– Вам известно, что действие силы на тело приводит к изменению его скорости, но вы не знаете, какова математическая связь величины изменения скорости и силы.

– Вы знаете, что существует сила упругости, но неизвестно, почему она возникает именно при деформации тела. Вам неизвестно, как рассчитать силу упругости, возникающую, например, при растяжении пружины.

– Вам неизвестна математическая формула закона всемирного тяготения. Вы не знакомились со способами расчёта движения планет и их спутников, происходящего под действием силы всемирного тяготения.

– Вам неизвестно, как рассчитать тормозной путь автомобиля, как он зависит от его начальной скорости и величины силы трения.

Вы видите, сколько важных и нужных вопросов ещё не изучено! Если в курсе физики вы вновь встретитесь с механическим движением, то, конечно же, не будете считать, что вам «уже всё известно». Впереди много новых задач, которые нужно решить. Много новых вопросов, на которые нужно найти ответы. Много новых явлений природы, которые нужно изучить!

## Раздел 3. Энергия. Работа. Мощность

В этом разделе вы познакомитесь с одним из важнейших физических понятий – энергией. Вы узнаете, как действуют простейшие механизмы и что такое КПД.



Вспомните, известно ли что-либо о таком понятии, как «мощность». Что оно означает?

### § 17. Энергия

- Кинетическая энергия
- Потенциальная энергия
- Определение понятия «механическая энергия»
- Единица измерения энергии

### § 18. Закон сохранения энергии

- Превращения энергии
- Формулировка закона
- Условия выполнимости закона

### § 19. Механическая работа

- Что характеризует работа
- Единица измерения работы
- Ещё один способ расчёта работы
- Расчёт потенциальной энергии тела, взаимодействующего с Землёй

### § 20. Мощность

- Что характеризует мощность
- Как рассчитать мощность
- Единица измерения мощности

### § 21. Решение задач по теме «Энергия. Работа. Мощность»

- Виды задач по теме «Энергия. Работа. Мощность»
- Примеры решения задач

### § 22. Простые механизмы. «Золотое правило» механики

- Роль орудий труда в жизни человека
- Простые механизмы
- Рычаг
- Блок
- Наклонная плоскость
- «Золотое правило» механики
- Доказательство «золотого правила» механики

### § 23. Лабораторная работа по проверке «золотого правила» механики

- «Золотое правило» механики и закон сохранения энергии
- Лабораторная работа

## § 24. Лабораторная работа «Изучение условия равновесия рычага»

Вращающее действие силы

Лабораторная работа

Условие равновесия рычага и «золотое правило» механики

## § 25. Коэффициент полезного действия.

Лабораторная работа «Определение КПД наклонной плоскости»

Полезная работа. Полная работа

Коэффициент полезного действия

Лабораторная работа

Самое важное в разделе «Энергия. Работа. Мощность»

P. S.

## § 17. ЭНЕРГИЯ

Энергия, слово греческого происхождения, означает могущество, достоинство...

*Из статьи «Энергия» в первом издании  
Британской энциклопедии, 1771 г.*

В этом параграфе мы приступаем к изучению очень важного понятия!



Каждый из нас слышал слово «энергия». Например, автомобиль движется, расходуя энергию топлива; при пользовании различными электроприборами в быту и на производстве потребляется электроэнергия; о решительном, активном человеке говорят, что он энергичен; на упаковках продуктов указывают их энергетическую ценность. Что же такое энергия? Не сразу и не просто это слово наполнилось физическим содержанием и стало одним из важнейших во всех разделах физической науки. Даже к концу XVIII века (прочтите ещё раз эпиграф к параграфу), когда был уже изобретён паровой двигатель, не было понимания всей значимости этого понятия – энергия.

**Кинетическая энергия.** Обратимся к опыту и изготовим простой, но интересный физический прибор – маятник. Он представляет собой нить с закреплённым на её конце грузом.

При отклонении от положения равновесия шарик приходит в движение. Чем больше угол отклонения, тем бóльшую скорость приобретает шарик. Если на пути шарика поставить, например, деревянный брусок, то шарик, ударившись об него, произведёт некоторое действие – сдвинет брусок (рис. 66).

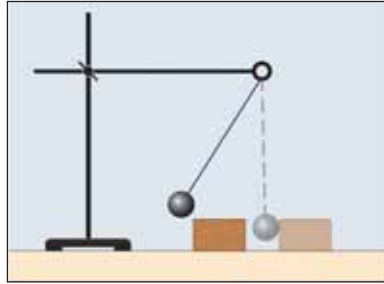


Рис. 66

Пронаблюдаем, какие действия будет производить шарик, если ему сообщать разные скорости, отводя маятник в сторону на разные углы. Видно, что *действие, производимое шариком, тем больше, чем больше его скорость*.

Теперь прикрепим к нитям одинаковой длины различные по массе шарики. Если получившиеся маятники отклонить на одинаковые углы и одновременно отпустить, то шарики будут за одно и то же время проходить одинаковые расстояния – значит, их скорости равны! Однако шарики при столкновениях с брусками произведут разные действия. Действие, производимое шариком, тем больше, чем больше его масса. Это свидетельствует о том, что, несмотря на одинаковые скорости, движения шариков в чём-то различны.

Рассмотренные опыты приведут нас к выводу: *действие, производимое движущимся телом, зависит и от массы тела, и от его скорости*. Чтобы предвидеть, какое действие произведёт движущееся тело, нужна физическая величина, которая определялась бы и массой, и скоростью тела. Эта величина называется **кинетической<sup>1</sup> энергией (энергией движения)**.



17.1. Приведите пример тел, обладающих кинетической энергией.

17.2. От каких физических величин зависит кинетическая энергия тела?

Кинетической энергией обладает любое движущееся тело – ведь оно может произвести то или иное действие. Например, движущийся молоток может забить при ударе гвоздь в доску; летящий камень или мяч – разбить стекло; движущиеся вёсла лодки действуют на воду в реке, а движущийся воздух – ветер – может растрепать волосы.

Чем больше масса и скорость движения тела, тем большее действие может совершить тело, а значит, тем больше его кинетическая энергия.

<sup>1</sup> От греческого слова *кинетикос* – приводящий в движение.

**Потенциальная энергия.** Теперь рассмотрим другой опыт. К горизонтально расположенной пружине, один конец которой закреплён, прикрепим деревянный брусок или тележку (рис. 67).

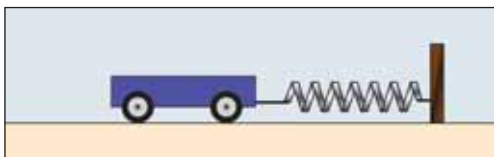


Рис. 67

Растянем или сожмём пружину и будем удерживать её в этом состоянии. Ни брусок, ни витки пружины не движутся, следовательно, они не обладают кинетической энергией. Однако пружина *может произвести* определённое действие (например, привести в движение брусок или тележку, прикрепленную к пружине). Поэтому деформированная пружина также обладает энергией. Эту энергию называют **потенциальной<sup>1</sup> энергией (энергией взаимодействия)**.

Потенциальная энергия взаимодействующих витков деформированной пружины, как легко проверить на опыте, зависит от упругих свойств и величины деформации пружины. Если растяжение пружины требует больших усилий (жесткая пружина) и пружина растянута на большую величину, то она произведёт значительное действие. Следовательно, витки такой пружины обладают большей потенциальной энергией.



17.3. Где на практике используют потенциальную энергию деформированного тела?

17.4. От чего зависит потенциальная энергия витков деформированной пружины?

Потенциальной энергией также обладают поднятое на некоторую высоту тело и Земля, взаимодействующие силой тяготения. Поднимем, например, гирию на некоторую высоту и под гирей расположим деревянный брусок с гвоздём (рис. 68). При падении гирия ударит о гвоздь и вобьёт его в брусок. Тем самым будет совершено некоторое действие.

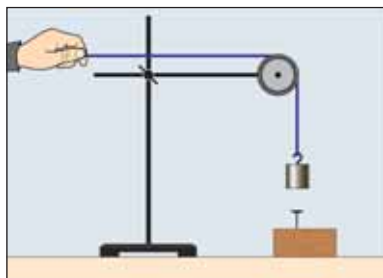


Рис. 68



Рис. 69

<sup>1</sup> От латинского слова *потенция* – сила, мощь.



Значит, поднятая гиря и Земля обладают потенциальной энергией. Потенциальной энергией обладает и вода в реке, поднятая плотиной гидроэлектростанции (рис. 69). При падении вода совершает определённое действие, приводя в движение турбины электростанции.

Для того чтобы выяснить, от каких физических величин зависит потенциальная энергия тел, взаимодействующих силой тяжести, проделаем следующий опыт. Снабдим лабораторный динамометр лёгкой пластинкой из пробки или поролона, который наденем на проволочный стержень динамометра (рис. 70, а, б). Пластинка должна держаться с небольшим трением.

Сдвинем пластинку к нижнему краю динамометра (рис. 70, а), затем потянем за крючок динамометра и отпустим. Пластинка по проволочному стержню поднимется вверх. Новое положение пластинки (рис. 70, б) укажет, как сильно была растянута пружина динамометра, какое действие было произведено на пружину. Вернём пластину в первоначальное положение, привяжем к крючку динамометра нитку с грузом и отпустим груз. Опыт свидетельствует: действие, производимое падающим грузом по растяжению пружины, его потенциальная энергия тем больше, чем больше первоначальная высота груза. Привязывая к нити различные по массе грузы, можно выяснить, как зависит потенциальная энергия груза от его массы.

Опыт показывает, что **энергия взаимодействия поднятого на некоторую высоту тела и Земли тем больше, чем больше масса и высота подъёма тела.**



17.5. Может ли тело одновременно обладать и кинетической, и потенциальной энергией?

**Определение понятия «механическая энергия».** Итак, если тело (или тела) совершает либо может совершить какое-нибудь механическое действие, изменения в окружающих телах, то говорят, что тело (или тела) обладает механической энергией.

Механическая энергия – скалярная физическая величина, которая является мерой движения и взаимодействия тел. Механическую энергию подразделяют на энергию движения – кинетическую и энергию взаимодействия – потенциальную.

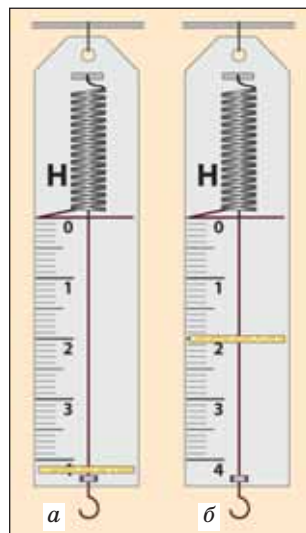


Рис. 70



**Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889).** Английский физик, внёс значительный вклад в исследование электромагнетизма и тепловых явлений, в обоснование закона сохранения энергии. Исследовал явления, протекающие при сжатии и расширении газов.

Обратите внимание, кинетическая энергия какого-нибудь тела – это энергия *одного* движущегося тела. Потенциальная энергия – это всегда энергия взаимодействия *нескольких* (самое малое двух) тел или частей тела. Если мы и говорим: «Потенциальная энергия гири, поднятой над поверхностью Земли», то должны понимать, что на самом деле речь идёт об энергии взаимодействия гири и Земли. Если говорим: «Потенциальная энергия сжатой пружины», то речь идёт об энергии взаимодействия витков этой пружины.

**Единица измерения энергии.** Единица измерения энергии называется **джоуль** (сокращённо обозначается Дж). Такое наименование единице измерения энергии присвоено в честь английского физика Д. П. Джоуля, который провёл важные эксперименты по изучению закона сохранения энергии. Потенциальной энергией примерно 1 Дж обладает стограммовый груз, поднятый на высоту 1 м. Пружина лабораторного динамометра, растянутая до последнего деления шкалы, будет иметь энергию 0,2 Дж. Пешеход при скорости 5 км/ч обладает кинетической энергией 60–80 Дж.

Используют и другие, более крупные, единицы энергии – килоджоуль (сокращённо обозначается кДж) и мегаджоуль (сокращённо обозначается МДж):

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж},$$

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



17.6. Сколько килоджоулей (кДж) в одном мегаджоуле (МДж)?

Так, например, пуля в момент вылета из ствола автомата имеет кинетическую энергию 2 кДж, а космический корабль при движении по орбите вокруг Земли – 200 000 МДж.

**Механическая энергия, кинетическая энергия,** зависимость кинетической энергии тела от его скорости и массы, **потенциальная энергия,** зависимость потенциальной энергии тела от его массы и высоты подъёма над землёй, **единица измерения энергии – джоуль (Дж).**

**17.1** ● Подготовьте ответ о механической энергии по плану ответа о физической величине. На все ли вопросы плана вы можете ответить?

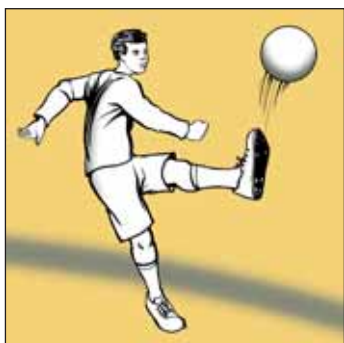
**17.2** ● Могут ли два тела разной массы обладать одинаковой кинетической энергией?

**17.3** ● В параграфе указаны значения кинетической энергии движущегося пешехода и пули. Почему кинетическая энергия пули больше кинетической энергии пешехода, хотя масса пешехода во много раз больше массы пули?

**17.4** ● Выясните, обладает ли энергией изогнутая линейка. Если да, то от чего она зависит?

**17.5** ● В каких местах реки – у истоков или в устье – кубический метр воды обладает большей потенциальной энергией?

## § 18. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ



Истина – это то, что выдерживает проверку опытом.

*А. Эйнштейн*

Вы уже знакомы с физической величиной «механическая энергия».

**Превращения энергии.** Воспользуемся уже известным нам прибором – маятником (рис. 71, а) и изучим физические явления, происходящие при его движении.

Отклоним маятник в сторону, подняв тем самым груз на некоторую высоту (рис. 71, б). Поднятый груз-маятник обладает некоторой потенциальной энергией.



18.1. Чему равна кинетическая энергия маятника в момент, показанный на рисунке 71, б?

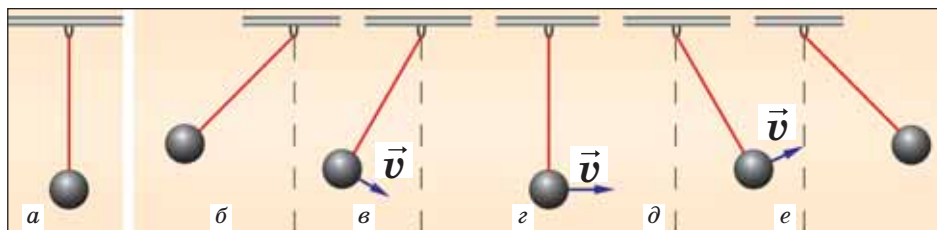


Рис. 71

Внимательно пронаблюдаем происходящие явления. Отпустим маятник, он придёт в движение и будет обладать уже и некоторой кинетической энергией (рис. 71, *в*). Потенциальная энергия маятника при этом уменьшается (объясните почему). В нижней точке траектории маятника (рис. 71, *г*), на «нулевой высоте», потенциальная энергия груза-маятника равна нулю. А кинетическая энергия – наибольшая, ведь скорость маятника в этот момент самая большая, так как сила тяжести дольше всего «разгоняла» груз.

При дальнейшем движении маятника (рис. 71, *д*) кинетическая энергия груза постепенно уменьшается (сила тяжести «тормозит» маятник и уменьшает его скорость), но потенциальная энергия увеличивается. В крайней верхней точке (рис. 71, *е*) потенциальная энергия маятника вновь достигает наибольшего значения, а кинетическая энергия маятника в этот момент равна нулю (объясните почему).



18.2. Что можно сказать о потенциальной энергии маятника в положении, изображённом на рисунке 71, *б*, и в положении, изображённом на рисунке 71, *е*?

В рассмотренном нами опыте с маятником мы познакомились с новым физическим явлением – **взаимным превращением энергии**.

Потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию, а кинетическая – в потенциальную.

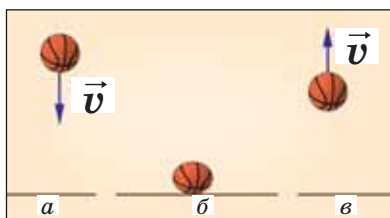


Рис. 72

Явление превращения энергии постоянно происходит в природе и широко используется в технике. Так, например, кузнечик при прыжке распрямляет ноги, происходит превращение энергии упругой деформации в кинетическую энергию движения кузнечика. А энергия движения, в свою очередь, переходит в потенциальную энергию тела, поднятого над поверхностью Земли. У мяча, брошенного с некоторой высоты, при его движении вниз потенциальная энергия превращается в кинетическую (рис. 72, *а*). При ударе мяча о жёсткую поверхность (рис. 72, *б*) его кинетическая энергия переходит в энергию упругой деформации. При ударе на мяч действует сила упругости, в итоге он отлетает вверх, вновь обладая кинетической энергией. Затем при движении мяча (рис. 72, *в*) его кинетическая энергия уменьшается, а потенциальная увеличивается.



18.3. Приведите примеры превращения механической энергии в природе и технике.

**Формулировка закона.** Превращения энергии подчиняются очень важному закону<sup>1</sup> – закону сохранения энергии.

Общее количество энергии при её превращениях не уменьшается и не увеличивается, а остаётся неизменным.

Вновь обратимся к опыту с маятником (рис. 71). Допустим, маятник отклонили, подняв груз на определённую высоту так, что первоначальная потенциальная энергия равна 0,3 Дж (рис. 71, б). Пусть при дальнейшем движении маятника (рис. 71, в) в некоторый момент времени его потенциальная энергия уменьшилась и стала равной 0,2 Дж. Тогда закон сохранения энергии позволяет рассчитать кинетическую энергию маятника в этот момент. Она будет равна

$$0,3 \text{ Дж} - 0,2 \text{ Дж} = 0,1 \text{ Дж}.$$

Если обозначить потенциальную энергию тел в некоторый начальный момент времени как  $E_{n0}$ , кинетическую энергию как  $E_{к0}$ , а потенциальную и кинетическую энергии в другой момент времени обозначить соответственно как  $E_n$  и  $E_k$ , то математическая запись закона сохранения энергии будет иметь вид

$$E_n + E_k = E_{n0} + E_{к0}.$$

**Условия выполнимости закона.** При первоначальном знакомстве с законом сохранения энергии у внимательного и вдумчивого ученика возникают сомнения: а всегда ли выполняется этот закон? Понаблюдаем за движением мяча, маятника, других тел. Так, мяч, брошенный с некоторой высоты, после каждого отскока будет подпрыгивать на всё меньшую и меньшую высоту – значит, его потенциальная энергия становится меньше. В конце концов мяч остановится и не будет обладать ни потенциальной, ни кинетической энергией, его механическая энергия равна нулю. Кажется, что закон сохранения энергии нарушен. Эти возражения были бы совершенно верны, если механическая энергия (кинетическая и потенциальная) являлась бы единственным видом энергии. Но помимо механической энергии имеются *тепловая энергия, световая энергия, электрическая энергия* и иные её виды. Эти виды энергии будут изучаться в дальнейшем в других разделах физики. В нашем примере с мячом следует учесть, что при каждом ударе мяча часть его механической энергии передаётся поверхности, о которую он ударяется; слышен звук удара, то есть происходит сотрясение (движение) воздуха. Так происходит превращение механической энергии мяча в иные виды энергии.

<sup>1</sup> Содержание понятия «закон природы» излагалось в § 12.

При наличии трения всегда происходит превращение механической энергии движущегося тела в тепловую энергию. Это легко обнаружить, если, например, потереть одну ладонь о другую – вы сразу же почувствуете, что ладони стали теплее.

Движение маятника (рис. 71) с течением времени прекратится, его механическая энергия станет равной нулю. Но это не означает, что энергия «исчезла» или «потеряна». Следует просто учесть, что, двигаясь, маятник постоянно сталкивается с частичками воздуха. В итоге частичкам воздуха будет передана вся механическая энергия маятника. Точнейшие измерения, проведённые физиками, подтверждают – энергия частичек воздуха увеличивается ровно на столько, на сколько уменьшается энергия маятника. Значит, закон сохранения энергии выполняется.

Множество наблюдений и опытов, проведённых учёными, убеждает, что если учитывать все виды энергии, то нет ни одного физического явления, в котором бы нарушался закон сохранения энергии.

Все явления в природе происходят так, что выполняется закон сохранения энергии: общее количество энергии не уменьшается и не увеличивается, а остаётся неизменным.

Такова наиболее общая формулировка великого закона природы, открытого учёными-физиками, – закона сохранения энергии.

**Превращения энергии;** виды энергии: тепловая энергия, световая энергия, электрическая энергия; **закон сохранения энергии.**

**18.1** ● Подготовьте ответ о законе сохранения энергии по плану ответа о физическом законе.

**18.2** ● Стрелок из лука растягивает тетиву лука и запускает стрелу вертикально вверх. Опишите, какие превращения энергии происходят при выстреле из лука и во время полёта стрелы. Какому закону природы подчиняются происходящие превращения энергии?

**18.3** ● Футболист, ударя по неподвижному мячу, сообщает ему кинетическую энергию 40 Дж. Чему будет равна потенциальная энергия мяча в полёте в тот момент времени, когда кинетическая энергия мяча станет равной 25 Дж? Может ли потенциальная энергия в рассматриваемом полёте быть больше 40 Дж? быть в точности равной 40 Дж?

**18.4** ● Яблоко, висящее на ветке, падает на землю. Чему будет равна кинетическая энергия яблока при ударе о землю, если его первоначальная потенциальная энергия составляет 4,5 Дж?

**18.5** ● Почему, если быстро скользить вниз по канату, можно обжечь руки?

## § 19. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА



Без труда не вытащить и рыбку из пруда.

*Русская пословица*

Вам уже известно, что

- кинетическая энергия тела зависит от его массы и скорости;
- скорость тела изменяется, если на тело действует сила.

**Что характеризует работа.** Проведем простой опыт. К пружине лабораторного динамометра прикрепим брусок и, придерживая динамометр, отведём брусок в сторону (рис.73). Растянем пружину до 2 Н, отпустим брусок и заметим, какую скорость он приобретёт. Затем растянем пружину динамометра до 4 Н. Опыт свидетельствует: чем больше сила, тем больше приобретаемая бруском скорость, а значит, и кинетическая энергия.

Пронаблюдаем за движением стограммового груза, падающего под действием силы тяжести. Опыт свидетельствует: чем больше расстояние, которое пролетает груз, тем больше приобретаемая грузом скорость, а значит, и кинетическая энергия.

Рассмотрим другой опыт. Пусть тележка движется под действием силы натяжения нити, к концу которой прикреплен груз (рис. 74). Выясним, зависит ли кинетическая энергия тележки от приложенной к ней силы и пути, пройденного тележкой при действии этой силы. Силу и путь нетрудно измерить. О кинетической энергии будем судить по величине скорости, приобретённой тележкой. Что же показывает опыт? Кинетическая энергия, приобретаемая тележкой, тем больше, чем больше сила и чем больше путь, пройденный при действии силы.

Для того чтобы количественно охарактеризовать действие силы, введена скалярная физическая величина, называемая **механической работой**.

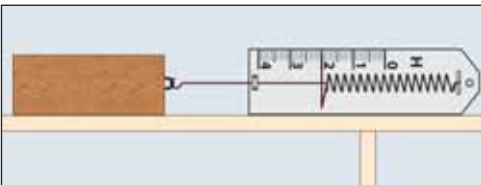


Рис. 73

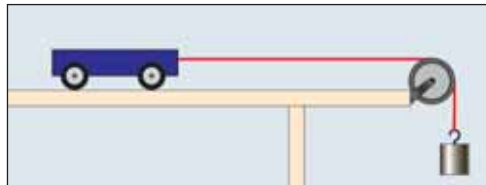


Рис. 74



Механическая работа силы, действующей на тело, – это физическая величина, численно равная изменению кинетической энергии тела, происшедшему под действием этой силы.

Если механическую работу, совершённую силой, обозначить буквой  $A$ , начальную кинетическую энергию тела  $E_{к0}$ , конечную кинетическую энергию  $E_{к}$ , то

$$A = E_{к} - E_{к0}.$$

**Единица измерения работы.** Так как работа равна изменению кинетической энергии, то работа и энергия измеряются в одних и тех же единицах. **Единица измерения механической работы** – джоуль. Например, при перелистывании страниц учебника совершается механическая работа около 0,001 Дж. Сердце человека, перекачивая кровь, за одно сокращение совершает около 1 Дж работы. Этой работы достаточно для подъёма гири массой 1 кг на высоту 10 см.

Рассмотрим несколько примеров расчёта механической работы.

**Задача 1.** Тележку, прикреплённую к пружине (рис. 73), сдвинули из положения равновесия влево так, что растянутая пружина стала обладать потенциальной энергией 0,4 Дж. Если тележку отпустить, то она начнёт двигаться. Какую механическую работу совершит сила упругости, действующая на тележку, к моменту прохождения тележкой положения равновесия?

*Дано:*  
Тележка  
 $E_{п0} = 0,4$  Дж

$A_{упр} - ?$

*Решение:*

Для определения работы, совершённой силой упругости, необходимо знать конечную и начальную кинетические энергии тележки. Начальная кинетическая энергия тележки  $E_{к0}$  равна нулю:

$$E_{к0} = 0.$$

При возвращении тележки к первоначальному положению пружина не деформирована, а значит, она не будет обладать потенциальной энергией. В соответствии с законом превращения и сохранения энергии конечная кинетическая энергия  $E_{к}$  тележки равна

$$E_{к} = 0,4 \text{ Дж}.$$

Так как механическая работа силы определяется изменением кинетической энергии

$$A = E_{к} - E_{к0},$$

то работа силы упругости  $A_{упр}$  составит

$$A_{упр} = 0,4 \text{ Дж} - 0 \text{ Дж} = 0,4 \text{ Дж}.$$

*Ответ:*  $A_{упр} = 0,4$  Дж.

**Задача 2.** Кинетическая энергия мяча, движущегося вверх, за некоторое время уменьшается в полёте от 100 до 60 Дж. Определите работу силы тяжести, действующей на мяч.

Дано:

Мяч

$E_{к0} = 100$  Дж

$E_{к} = 60$  Дж

$A_{тяж}$  - ?

Решение:

В полёте на мяч действует сила тяжести (силу сопротивления воздуха учитывать не будем, она мала). Работу силы тяжести, действующую на мяч, рассчитаем по формуле

$$A = E_{к} - E_{к0}.$$

$$A = 60 \text{ Дж} - 100 \text{ Дж} = -40 \text{ Дж}.$$

Ответ:  $A_{тяж} = -40$  Дж.

Как видим, механическая работа может иметь не только положительное, но и отрицательное значение. Если действие силы, приложенной к телу, приводит к увеличению кинетической энергии тела, то силой совершается положительная работа. Если же, как в задаче 2, действие силы приводит к уменьшению кинетической энергии, то совершается отрицательная работа.

**Ещё один способ расчёта работы.** Учёными установлено, что особенно просто можно вычислить механическую работу, если на тело *действует постоянная сила, направленная так, как направлено перемещение тела*. Соответствующие примеры изображены на рисунке 75, а–в.

Оказывается, при таком условии механическую работу можно рассчитать по формуле

$$A = FS, \quad (19.1)$$

где  $F$  – величина силы, действующей на тело;

$S$  – путь, пройденный телом.

Если направление силы и направление перемещения тела совпадают (рис. 75, а, б), то действие силы приводит к увеличению кинетической энергии тела. В этом случае механическая работа силы положительна.

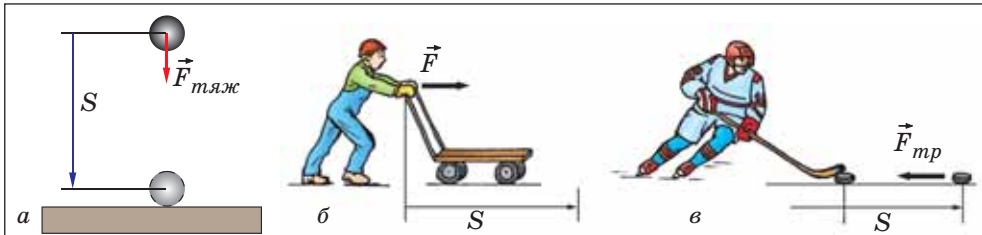


Рис. 75

Если направления силы и перемещения тела противоположны, то действие силы приводит к уменьшению кинетической энергии. Тогда работа силы отрицательна. Именно такой случай изображён на рис. 75, в. Сила трения совершает отрицательную работу, уменьшая скорость и кинетическую энергию шайбы. Если направление силы, действующей на тело, и направление перемещения тела противоположны, то механическая работа равна

$$A = -FS. \quad (19.2)$$



19.1. Можно ли по формуле (19.1) или (19.2) рассчитать работу силы упругости при растяжении пружины лабораторного динамометра?

Формула (19.1) позволяет установить связь единицы измерения энергии и работы – джоуля – с другими единицами измерения физических величин. Так как механическая работа измеряется в джоулях, а сила и путь соответственно в ньютонах и метрах, то

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

Рассмотрим, как формула (19.1) может быть использована при решении задач, связанных с расчётом механической работы.

**Задача 3.** Подъёмный кран поднимает равномерно вверх груз массой 1,3 т на высоту 10 м. Определите совершённую при этом работу.

Дано:

Подъёмный  
кран

$$m = 1,3 \text{ т}$$

$$S = 10 \text{ м}$$

$$A = ?$$

СИ:

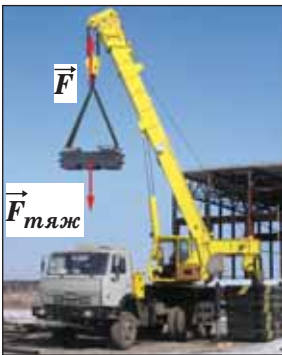
$$1300 \text{ кг}$$

Решение:

На плиту действуют сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$  и сила натяжения  $F$  троса подъёмного крана (рис. 76). Так как плита поднимается равномерно, то эти силы уравновешивают друг друга и

$$F = F_{\text{тяж}}.$$

$$F = mg.$$



Сила  $F$  постоянна, и её направление совпадает с направлением перемещения плиты  $S$ .



19.2. Какой – положительной или отрицательной – будет работа, совершаемая силой  $F$  при перемещении плиты?

Для расчёта механической работы можно воспользоваться формулой (19.1):

$$A = FS.$$

Рис. 76

$$A = mgS.$$

$$A = 1300 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ м} = 130\,000 \text{ Дж}.$$

$$A = 130 \text{ кДж}.$$

*Ответ:*  $A = 130 \text{ кДж}$ .

**Задача 4.** Шайба, первоначально имевшая кинетическую энергию 10 Дж, скользит по горизонтальному льду. Какая сила трения действует на шайбу со стороны льда, если тормозной путь шайбы (то есть её путь до полной остановки) равен 25 м?

*Дано:*  
Шайба  
 $E_{к0} = 10 \text{ Дж}$   
 $E_{к} = 0$   
 $S = 25 \text{ м}$

$F_{тр} - ?$

*Решение:*

Работа силы трения  $A_{тр}$  будет равна

$$A_{тр} = E_{к} - E_{к0}.$$

Так как шайба под действием силы трения в итоге остановится, то её конечная кинетическая энергия  $E_{к}$  равна нулю:

$$E_{к} = 0.$$

$$A_{тр} = -E_{к0},$$

$$A_{тр} = -10 \text{ Дж}.$$

Знак минус указывает на то, что направление силы трения противоположно направлению перемещения шайбы.



19.3. Почему работа, совершённая силой трения при перемещении шайбы, отрицательна?

Для расчёта механической работы, совершаемой силой трения, можно также воспользоваться формулой (19.2):

$$A_{тр} = -F_{тр} S.$$

Отсюда

$$F_{тр} = -\frac{A_{тр}}{S}.$$

$$F_{тр} = \frac{10 \text{ Дж}}{25 \text{ м}}.$$

$$F_{тр} = \frac{10 \text{ Н} \cdot \text{м}}{25 \text{ м}}.$$

$$F_{тр} = 0,4 \text{ Н}.$$

*Ответ:*  $F_{тр} = 0,4 \text{ Н}$ .



### Расчёт потенциальной энергии тела, взаимодействующего с Землёй.

Соотношение (19.1) позволяет вывести формулу для расчёта потенциальной энергии тела массой  $m$ , поднятого на высоту  $h$  над поверхностью Земли (рис. 77).

Обозначим начальную потенциальную энергию тела на высоте  $h$  через  $E_{n0}$ . Начальная кинетическая энергия  $E_{к0}$  равна нулю (тело покоится):

$$E_{к0} = 0.$$

Пусть тело отпустили, и оно упало на поверхность Земли. Тогда в момент удара о Землю потенциальная энергия тела  $E_n$  равна нулю:

$$E_n = 0.$$

Определим конечную кинетическую энергию тела  $E_к$ . Для этого сравним начальное и конечное состояния взаимодействующих тел и запишем закон сохранения энергии:

$$E_к + E_n = E_{к0} + E_{n0}.$$

$$E_n = 0, E_{к0} = 0.$$

Значит,

$$E_к = E_{n0}.$$

Работа силы тяжести равна изменению кинетической энергии тела:

$$A = E_к - E_{к0},$$

отсюда

$$A = E_{n0}.$$

Работу постоянной по величине силы тяжести легко найти:

$$A = mgh.$$

Тем самым

$$E_{n0} = mgh.$$

Таким образом, энергия взаимодействия тела и Земли тем больше, чем больше масса и высота подъёма тела. (Сравните полученный результат с результатами опытов по рисунку 70 учебника.)

**Задача 5.** Гирю какой массы необходимо поднять на высоту 2 м над уровнем пола, чтобы потенциальная энергия гири составила 320 Дж?

Дано:

Гиря  
 $E_n = 320$  Дж  
 $h = 2$  м

$m = ?$

Решение:

Потенциальную энергию  $E_n$  гири массой  $m$ , поднятой на высоту  $h$ , можно рассчитать по формуле

$$E_n = mgh.$$

Отсюда

$$m = \frac{E_n}{gh}.$$

Ответ:  $m = 16$  кг.

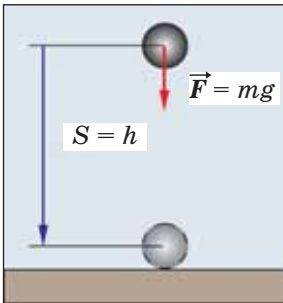


Рис. 77

**Механическая работа,  $A = E_k - E_{k0}$ , единица измерения механической работы – джоуль (Дж), формула для расчёта механической работы постоянной силой:  $A = FS$ .**

**19.1** ● Подготовьте ответ о механической работе по плану ответа о физической величине.

**19.2** ● Стрела вылетает из лука, обладая кинетической энергией 8 Дж. Какая работа совершена силой упругости растянутой тетивы при выстреле?

**19.3** ● Лошадь равномерно везёт телегу в течение 0,5 ч со скоростью 0,8 м/с, прилагая усилие 800 Н. Какая работа совершается при этом? (Силу, приложенную лошадьёю к телеге, считать направленной вдоль перемещения телеги.)

**19.4** ● Спутник вращается по круговой орбите вокруг Земли (рис. 78). Совершает ли при этом работу сила тяжести? (Подсказка. Подумайте, меняется ли при движении спутника его потенциальная энергия.)

**19.5** ● Можно ли использовать формулу  $E_n = mgh$  для расчёта потенциальной энергии тела, находящегося на большой (тысячи, десятки тысяч километров) высоте от поверхности Земли? (Подсказка. Сила всемирного тяготения зависит от массы взаимодействующих тел и расстояния между ними.)

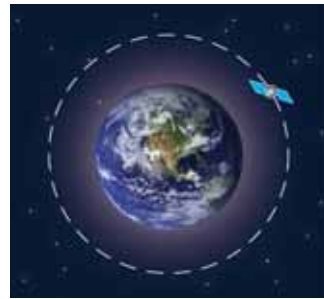


Рис. 78

## § 20. МОЩНОСТЬ



На постройке пирамиды Хеопса трудились 10 000 рабов в течение 20 лет. В наши дни такую пирамиду можно было бы соорудить за 9 месяцев при участии всего 500 рабочих.

*Из книги М.И. Блудова «Беседы по физике»*

Вы уже знакомы с физической величиной «механическая работа».

**Что характеризует мощность.** Для совершения механической работы часто используют различные механизмы. С помощью подъёмного крана поднимают бетонные плиты на стройке, ледоколом взламывают лёд в море, прокладывая путь караванам судов, на станке обрабатывают детали и так далее. При этом механизмами за одно и то же время может быть совершена разная механическая работа. Пусть, например, имеется два двигателя, с помощью которых совершается механическая работа по поднятию грузов (рис. 79).

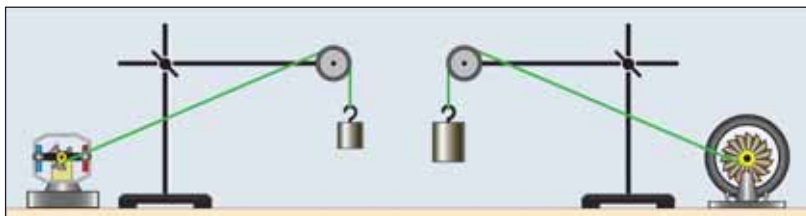


Рис. 79

Допустим, двигатели подняли грузы на одинаковую высоту за одинаковое время. Но первый двигатель поднял груз массой 1 кг, а второй – 2 кг. Ясно, что за одно и то же время второй двигатель совершил большую механическую работу, чем первый. И, наверное, лучше применять второй двигатель.

Также несложно выяснить, какой из двигателей лучше, если ими совершена одинаковая механическая работа, но за различное время. Например, если первый двигатель поднял груз на некоторую высоту за 8 с, а второму двигателю на подъём такого же груза на ту же высоту потребовалось только 4 с, можно вновь сделать вывод, что второй двигатель лучше первого.

Теперь сравните двигатели, если первым двигателем совершена работа 900 Дж за 3 с, а вторым двигателем – 800 Дж за 2 с.



20.1. Чем эта задача отличается от двух предыдущих? Сформулируйте вопрос о сравнении двигателей в этом случае. Сравните свою формулировку вопроса с той формулировкой, что предложена автором.



20.2. Как сравнить двигатели, если ими совершена разная механическая работа и за различное время?

В этом случае удобно выяснить, какая работа совершается за единицу времени, как быстро она совершается. Быстрота совершения работы характеризуется скалярной величиной – **мощностью**.

Мощность – это физическая величина, численно равная работе, совершаемой за единицу времени.

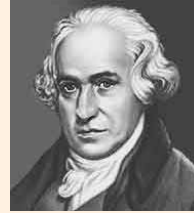
**Как рассчитать мощность.** Пусть двигателем совершена механическая работа 1500 Дж за промежуток времени 3 с. Как рассчитать мощность двигателя?

Обозначим механическую мощность буквой  $N$ , работу –  $A$ , промежуток времени, за который совершена работа,  $t$ . Тогда формула для расчёта мощности будет иметь вид

$$N = \frac{A}{t} . \quad (20.1)$$



**Джеймс Уатт (1736–1819).** Английский изобретатель. Им была изобретена первая универсальная паровая машина. С небольшими усовершенствованиями она более века являлась единственным промышленным двигателем: приводила в движение станки, паровозы, пароходы. Машина Уатта сыграла исключительно важную роль в переходе к машинному производству и в развитии мировой промышленности.



**Единица измерения мощности.** Единица измерения мощности – **ватт** (сокращённо обозначается Вт). Такое название единица мощности получила в честь английского изобретателя Дж. Уатта.

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

За единицу мощности принята такая мощность, при которой в 1 с совершается работа в 1 Дж. Например, человек при обычной ходьбе по ровной дороге развивает мощность 60–65 Вт, а при быстрой ходьбе – 200 Вт. Часто применяют и более крупные единицы измерения мощности – киловатт (сокращённо обозначается кВт) и мегаватт (сокращённо обозначается МВт)<sup>1</sup>.



- 20.3. Сколько ватт (Вт) в одном киловатте (кВт)? в одном мегаватте (МВт)?  
20.4. Сколько киловатт (кВт) в одном мегаватте (МВт)?

В таблице 3 приведены данные о мощности двигателей некоторых технических устройств.

**Таблица 3. Мощность некоторых технических устройств, кВт**

Автомобиль КамАЗ	150
Танк Т-80	900
Самолёт Ан-22 («Антей»)	44 000
Атомный ледокол «Арктика»	55 000
Ракетноситель космического корабля «Восток»	15 000 000
Ракетноситель космического корабля «Энергия»	125 000 000

<sup>1</sup> В технике иногда применяется ещё одна внесистемная (то есть не принадлежащая СИ) единица мощности – лошадиная сила (сокращённо обозначается л. с.). 1 л. с. = 735,5 Вт.

Рассмотрим пример применения формулы (20.1) для расчёта механической мощности.

**Задача 1.** Спортсмен поднимает штангу массой 80 кг с пола на уровень груди (на высоту 1 м 60 см) за 0,8 с. Определите среднюю мощность, развиваемую спортсменом.

<i>Дано:</i> Спортсмен $m = 80$ кг $S = 1$ м 60 см $t = 0,8$ с <hr/> $N - ?$	<i>СИ:</i>      $1,6$ м	<i>Решение:</i> Для расчёта мощности необходимо знать механическую работу и время, за которое она совершена: $N = \frac{A}{t} .$
---	---	--

Время известно. Механическую работу при подъёме груза (штанги) рассчитать легко (смотрите задачу 3 из § 19):

$$A = mgS.$$

Тогда

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

$$N = \frac{80 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 1,6 \text{ м}}{0,8 \text{ с}} = 1600 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} .$$

$$N = 1600 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1600 \text{ Вт} = 1,6 \text{ кВт}.$$

*Ответ:*  $N = 1,6$  кВт.

**Мощность,  $N = \frac{A}{t}$ , единица измерения мощности – ватт (Вт).**

**20.1** ● Подготовьте ответ о механической мощности по плану ответа о физической величине.

**20.2** ● Какую работу совершают двигатели атомного ледокола «Арктика» за 5 мин. движения?

**20.3** ● Сколько времени нужно работать двигателю мощностью 25 кВт для совершения механической работы 0,75 МДж?

**20.4** ● Одинаковую ли механическую работу совершают мальчики равной массы, взбегающие по лестнице на одну и ту же высоту, один за 1 мин, другой за 40 с? Одинаковую ли мощность развивают они при этом? Ответы обосновать.

**20.5** ● Докажите, что единица измерения мощности (ватт) равна произведению единицы силы (ньютон) на единицу пути (метр), делённому на единицу времени (секунда).

## § 21. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ЭНЕРГИЯ. РАБОТА. МОЩНОСТЬ»



Что бы ты ни делал, делай разумно и не выпускай из виду цели.

*Козьма Прутков – коллективный псевдоним писателей А. Толстого и братьев Жемчужниковых, выступавших под этим именем с баснями, афоризмами с 1850 по 1860-е годы*

Вам уже известны физические величины «энергия», «работа», «мощность» и закон сохранения энергии.

Одним из важнейших законов природы является закон сохранения энергии. Этот закон выполняется при любых изменениях, происходящих в природе, для всех физических явлений. Используя такие величины, как энергия, работа, мощность, и учитывая закон превращения и сохранения энергии, можно решить многие физические задачи.

### Виды задач по теме «Энергия. Работа. Мощность».

#### 1. Задачи на закон сохранения энергии:

– Задачи на использование формулы закона

$$E_k + E_n = E_{k0} + E_{n0} \quad (21.1)$$

для нахождения одного из слагаемых, если остальные слагаемые известны.

– Задачи, в которых требуется рассчитать, сколько механической энергии превратилось в другие виды энергии (например, тепловую энергию за счёт работы силы трения).

#### 2. Задачи на расчёт механической работы:

– Задачи на расчёт работы силы, приложенной к телу, по изменению его кинетической энергии:

$$A = E_k - E_{k0}. \quad (21.2)$$

– Задачи на расчёт работы с использованием формулы

$$A = FS. \quad (21.3)$$

– Задачи, при решении которых для расчёта работы используются обе формулы – (21.2) и (21.3).

#### 3. Задачи на расчёт мощности:

– Задачи, при решении которых используется формула, определяющая мощность:

$$N = \frac{A}{t}. \quad (21.4)$$

– Задачи, в которых для определения мощности необходимо дополнительно использовать формулы (21.2) и (21.3) для расчёта работы.

#### 4. Комбинированные задачи.

Эти задачи чем-то сходны с игрой-конструктором, где отдельные элементы – кубики, детали – нужно собрать в единое целое. Так и в комбинированных задачах, вначале необходимо решить отдельные задачи – на закон сохранения энергии, на расчёт работы и мощности. А затем полученные результаты объединяют в общем, итоговом решении. При необходимости дополнительно используют формулы пути при равномерном движении:

$$S = vt \quad (21.5)$$

и силы тяжести:

$$F = mg. \quad (21.6)$$

#### Примеры решения задач.



Рис. 80

**Задача 1.** Санки скатываются с гладкой горки и далее движутся по горизонтальному участку, посыпанному песком (рис. 80). Чему равна сила трения, действующая на санки, если они останавливаются, проехав по горизонтальному участку 5,5 м? Потенциальная энергия санок на вершине горки равна 1,1 кДж.

Дано:

Санки

$$S = 5,5 \text{ м}$$

$$E_{п0} = 1,1 \text{ кДж}$$

$$F_{тр} - ?$$

СИ:

$$1100 \text{ Дж}$$

Решение:

По условию задачи горка гладкая – можно считать, что при движении санок по склону горки сила трения очень мала. Значит, при спуске санок нет превращения механической энергии в тепловую энергию. Происходит только

превращение потенциальной энергии в кинетическую.

На горизонтальном участке на санки действует сила трения скольжения, направленная против перемещения санок. Действие силы трения приведёт к уменьшению кинетической энергии санок, и в итоге они остановятся. При этом работа, совершённая силой трения, будет равна изменению кинетической энергии санок. С другой стороны, сила трения постоянна по модулю и направлена против перемещения санок. Значит, работу можно выразить через силу и перемещение. Это позволит в итоге определить силу трения.

Переведём наши рассуждения на «язык формул». Запишем закон сохранения энергии:

$$E_{\kappa} + E_n = E_{\kappa 0} + E_{n 0}.$$

Будем считать, что первоначально, на вершине горки, санки не двигались ( $E_{\kappa 0} = 0$ ). Когда санки скатятся, их потенциальная энергия станет равной нулю ( $E_n = 0$ ).

Тогда

$$E_{\kappa} = E_{n 0}. \quad (21.7)$$

Работа силы трения на горизонтальном участке равна изменению кинетической энергии санок:

$$\begin{aligned} A &= 0 - E_{\kappa}. \\ A &= -E_{\kappa}. \end{aligned} \quad (21.8)$$

С учётом формулы (21.7) имеем

$$A = -E_{n 0}. \quad (21.9)$$



21.1. Как рассчитать работу постоянной силы, если направление силы и перемещения противоположны?

Работа силы трения может быть рассчитана по формуле

$$A = -F_{mp}S. \quad (21.10)$$

Теперь, используя формулы (21.9) и (21.10), можно определить силу трения  $F_{mp}$ .

$$F_{mp}S = E_{n 0}.$$

$$F_{mp} = \frac{E_{n 0}}{S}.$$

$$F_{mp} = \frac{1100 \text{ Дж}}{5,5 \text{ м}} = 200 \text{ Н}.$$

Действия с единицами измерений:

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

Ответ:  $F_{mp} = 200 \text{ Н}$ .

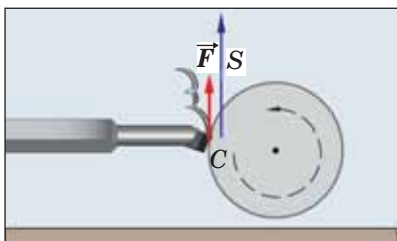


Рис. 81

**Задача 2.** Рабочий на токарном станке с помощью резца снимает тонкую стружку с круглой детали диаметром 10 см (рис. 81). Сила, действующая на деталь со стороны резца, равна 400 Н. Какая механическая работа будет совершена резцом за двадцать оборотов детали?

*Дано:*  
Резец  
 $D = 10$  см  
 $F = 400$  Н  
 $n = 20$

$A = ?$

*СИ:*  
 $0,1$  м

*Решение:*

К детали в точке  $C$  приложена постоянная по модулю сила  $F$ . Перемещение  $S$  точки приложения силы совпадает с направлением силы. Путь  $S$  – это расстояние, пройденное точкой  $C$  за двадцать оборотов; один оборот – длина окружности.

Так как по условию задачи резец снимает тонкую стружку, то будем считать, что размер детали существенно не изменился за двадцать оборотов.

Тогда

$$S = nl, \quad (21.11)$$

где  $n$  – число оборотов;

$l$  – длина окружности, по которой движется точка  $C$  (точка приложения силы).

Длину окружности легко рассчитать, если известен её диаметр  $D$ :

$$l = \pi D, \quad (21.12)$$

где  $\pi = 3,14$ .

Теперь, используя формулы (21.3), (21.11), (21.12), можно определить искомую работу.

$$A = Fn\pi D.$$

$$A = 400 \text{ Н} \cdot 20 \cdot 3,14 \cdot 0,10 \text{ м} = 2500 \text{ Дж}.$$

$$A = 2,5 \text{ кДж}.$$

Действия с единицами измерений:

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

*Ответ:*  $A = 2,5$  кДж.



**Задача 3.** Катер равномерно движется со скоростью 8 м/с, преодолевая силу сопротивления воды 1,2 кН. Определите мощность двигателя.

*Дано:*

Катер

$$v = 8 \text{ м/с}$$

$$F_{\text{сопр}} = 1,2 \text{ кН}$$

$N - ?$

*СИ:*

$$1200 \text{ Н}$$

*Решение:*

Для нахождения мощности двигателя следует знать, какая работа  $A$  совершается двигателем катера за некоторое время  $t$ . Механическая работа, совершаемая силой тяги, определяется величиной силы  $F$  и перемещением катера  $S$ .

$$A = FS.$$

При равномерном движении катера путь равен

$$S = vt.$$

Также воспользуемся формулой (21.4), определяющей мощность:

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

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

*Ответ:*  $N = 10 \text{ кВт}$ .

**Задача 4.** В вашем распоряжении имеется лабораторный динамометр и измерительная линейка. Определите, какую работу необходимо совершить для растяжения пружины динамометра от 0 до 4 Н.

*Решение:*

Особенностью данной задачи является то, что вам необходимо провести расчёт механической работы, совершаемой переменной силой.

Ознакомимся со специальным методом, который позволяет решить подобную задачу. Вначале рассмотрим простейший пример. Пусть на некоторое тело действует постоянная сила  $F$  и тело перемещается в направлении силы, проходя путь  $S$ . Построим график зависимости силы  $F$  от пути  $S$ . Так как на тело действует постоянная сила, то в этом случае график зависимости будет иметь вид прямой, параллельной оси  $S$  (рис. 82, а).

В рассматриваемом примере механическую работу  $A$  определить легко:

$$A = FS.$$

Из графика (рис. 82, а) видно, что работа  $A$  численно равна площади прямоугольника под графиком зависимости силы  $F$  от пройденного пути  $S$ . (Одна сторона прямоугольника равна численному значению силы  $F$ , вторая сторона прямоугольника – пути  $S$ .)



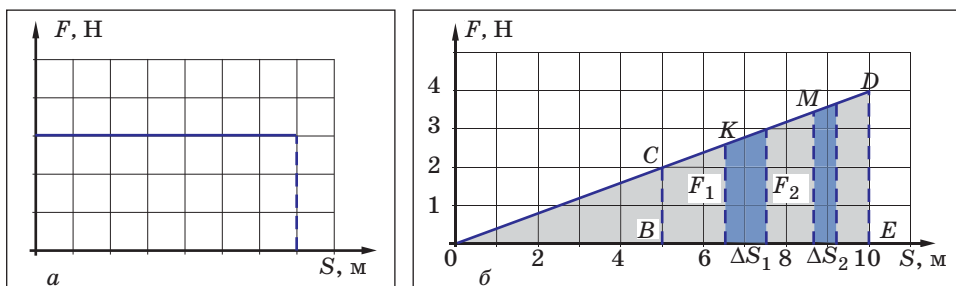


Рис. 82

Далее построим график зависимости силы  $F$ , приложенной к пружине динамометра, от её растяжения  $S$ . Для этого, растягивая пружину на 1, 2 см и так далее, будем измерять силу, приложенную к пружине. График, построенный по результатам подобных измерений, приведён на рисунке 82, б.

Пусть в некоторый момент при проведении опыта на пружину действовала сила  $F_1$  (точка  $K$  на графике, изображённом на рисунке 82, б). Растянем пружину, переместив конец пружины на малое расстояние  $\Delta S_1$ . Так как перемещение мало, то можно считать, что сила  $F_1$  при этом практически не изменилась. Для расчёта механической работы  $A_1$  постоянной силы  $F_1$  на участке  $\Delta S_1$  мы вправе применить формулу (21.3):

$$A_1 = F_1 \Delta S_1.$$

Из анализа графика следует, что работа  $A_1$  численно равна площади малого прямоугольника со сторонами  $F_1$  и  $\Delta S_1$ .



21.2. Чему численно равна работа силы  $F_2$  (точка  $M$  на графике, изображённом на рисунке 82, б) при перемещении конца пружины на малое расстояние  $\Delta S_2$ ?

Теперь понятно, как вычислить механическую работу  $A$ , совершённую переменной силой. Необходимо, мысленно разбив перемещение  $S$  на отдельные малые перемещения  $\Delta S_1, \Delta S_2, \Delta S_3$  и так далее, вычислить работу  $A_1, A_2, A_3$  и так далее.

Но каждая из малых работ ( $A_1, A_2, A_3$  и так далее) численно равна площади соответствующего малого прямоугольника. Следовательно, вся механическая работа  $A$  будет численно равна площади под графиком зависимости силы  $F$  от перемещения  $S$ .

Например, работа, которую необходимо совершить для растяжения пружины динамометра от 0 до 4 Н, численно равна площади треугольника  $OBC$  (рис. 82, б).

Ответ:  $A = 0,2$  Дж.

**21.1** ● Составьте задачу по теме «Закон сохранения энергии». (Общие указания по составлению физической задачи приведены в задании 6.7.)

**21.2** ● О бесполезных, лишённых смысла усилиях часто образно говорят, что «это не работа, а марьшишкин труд». Допустим, что вы изо всех сил толкаете тяжёлый шкаф, а он не сдвигается с места. Совершается ли при этом механическая работа силой, приложенной вами?

**21.3** ● Рабочий, вытаскивая гвоздь длиной 100 мм, совершает работу 80 Дж. Определите среднюю силу сопротивления, действующую на гвоздь со стороны доски.

**21.4** ● Экспериментатор изучал движение груза, происходившее под действием силы тяжести. В результате проведённых измерений ему удалось построить график зависимости кинетической энергии груза от времени падения (рис. 83). Используя данный график, определите, какая работа совершается силой тяжести за вторую секунду падения груза.

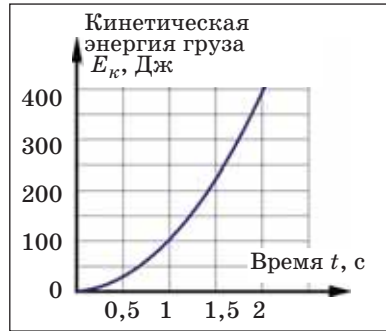


Рис. 83



**21.5.** Оцените, какую мощность вы развиваете, взбегая на 2-й или 3-й этаж здания. (Подсказка. Считайте, что совершаемая вами работа идёт только на увеличение потенциальной энергии тела.)

## § 22. ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ



Дайте мне точку опоры, и я переверну Землю!

*Слова, приписываемые Архимеду  
(287–212 до н. э.), знаменитому механику  
и математике древности*

Вы уже знакомы с законом сохранения энергии и физической величиной «механическая работа».



**Роль орудий труда в жизни человека.** Не возникал ли у вас вопрос, почему именно человек оказался на вершине развития биологического мира Земли? Ведь были и есть на Земле живые существа, во много раз и больше, и сильнее человека. Вспомните хотя бы древних гигантских динозавров или современных слонов. Гепард, например, превосходит в скорости мирового рекордсмена по бегу в три раза, а человекообразные обезьяны гориллы сильнее любого тренированного спортсмена.

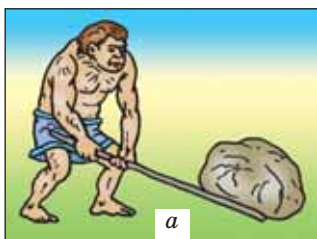


Рис. 84

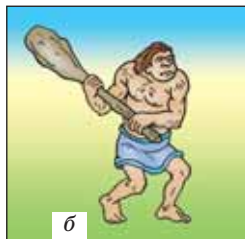


Рис. 85

История развития жизни на Земле свидетельствует: первобытный человек не мог противостоять натиску природы только за счёт своей физической силы и выносливости. И это вынудило его напрягать в первую очередь не мускулы, а ум. Так, волк или рысь, развивающие при беге скорость до 60 км/ч, могут настигнуть свою добычу, а человеку пришлось изобретать копьё, лук и стрелы. Медведь может легко переворачивать тяжёлые камни – валуны, а человек был вынужден усилить удар лапы, которым он валит антилопу, а человек был вынужден усилить руку, вложив в неё дубину (рис. 84, а). Могучему льву нет нужды усиливать удар лапы, которым он валит антилопу, а человек был вынужден усилить руку, вложив в неё дубину (рис. 84, б). Так в руках человека появились вначале примитивные, а затем всё более совершенные **орудия труда**. И за десятки тысяч лет своего развития человечество прошло путь от каменного топора до современного компьютера и космического корабля (рис. 85).

**Простые механизмы.** Каждый последующий шаг на пути человеческого развития был связан с изобретением различных механизмов.

Механизмы – приспособления для преобразования силы по величине и направлению.

К простейшим (простым) механизмам относятся **рычаг** и его разновидности – **неподвижные** и **подвижные блоки**, а также **наклонная плоскость**.

Простые механизмы использовались уже за три тысячи лет до нашей эры, во времена строительства пирамид в Древнем Египте. На сооружение самой высокой из них – пирамиды фараона Хеопса – пошло 2 300 000 каменных глыб, средняя масса которых 2,5 т. Эти глыбы из каменоломен доставлялись на место сооружения пирамиды на специальных салазках (санках). Подъём тяжестей осуществлялся с помощью наклонной плоскости – специально построенной наклонной дороги. Для поднятия и горизонтального перемещения каменных глыб применялся также рычаг. В дальнейшем помимо рычага и наклонной плоскости в Древней Греции (IV – III века до нашей эры) стали использовать неподвижные и подвижные блоки.

**Рычаг.** Рычаг – твёрдое тело, которое можно поворачивать вокруг неподвижной точки – оси вращения.

Рычаг позволяет преобразовать силу по величине и направлению. На рис. 86 изображён рычаг  $BC$ , который способен вращаться вокруг оси (точка  $O$ ).  $OB$  и  $OC$  – плечи рычага. Если небольшую силу  $F_1$  прикладывать к длинному плечу рычага  $d_1$ , то на коротком плече рычага  $d_2$  при равновесии будет действовать бóльшая сила  $F_2$ . Такой рычаг позволяет получить выигрыш в силе.

Рычаги часто встречаются в природе и технике. Так, в скелете животных и человека все кости, имеющие некоторую свободу движений, являются рычагами. Например, у человека это кости конечностей, нижняя челюсть.

Интересно устройство рычага – руки человека (рис. 87). Рука-рычаг может удерживать и поднимать груз, находящийся на ладони (сила  $F_1$ ) под действием силы  $F_2$  мышцы. Мышца прикреплена на небольшом расстоянии  $d_2$  от оси рычага – локтевого сустава (точка  $O$  на рис. 87). Так как расстояние  $d_1$  – от локтевого сустава до ладони больше расстояния  $d_2$ , то мы имеем проигрыш в силе:  $F_1 < F_2$ .

Чтобы удерживать груз, мышца руки человека должна развивать силу  $F_2$ , в несколько раз бóльшую, чем сила  $F_1$ , с которой груз действует на ладонь. Но, проигрывая в силе, мы выигрываем в других отношениях. Небольшое сокращение длины мышцы позволяет осуществить значительное перемещение ладони с грузом. (Мы можем поднять груз даже к плечу!) Кроме того, мы выигрываем и в скорости перемещения руки. Тем самым обеспечивается быстрота двигательной реакции человека, а это, конечно же, очень важно.

Примерами рычагов в технике могут служить гаечные ключи, кусачки, ножницы, стрела подъёмного крана (рис. 88, 89).

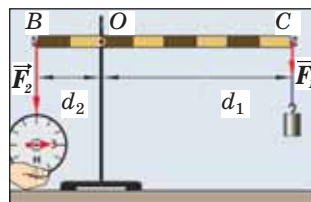


Рис. 86

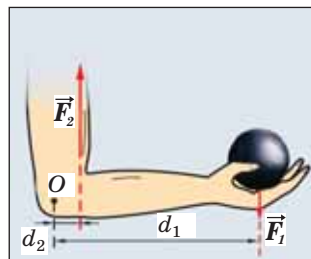


Рис. 87



Рис. 88



Рис. 89

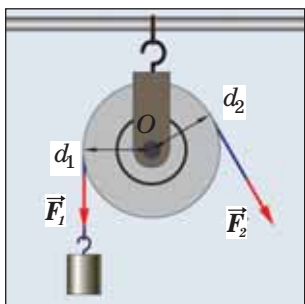


Рис. 90

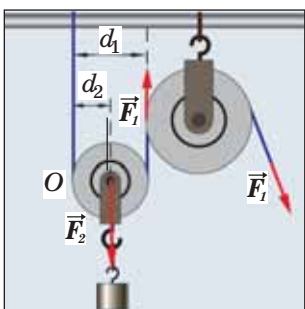


Рис. 91

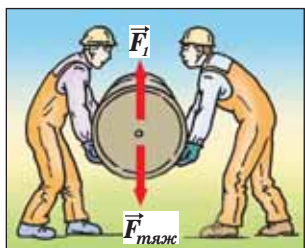


Рис. 92

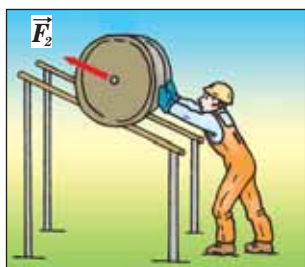


Рис. 93

**Блок.** Разновидностью рычага являются блоки – неподвижные (рис. 90) и подвижные (рис. 91).

Блок представляет собой колесо с жёлобом. По жёлобу блока пропускают верёвку или трос. У неподвижного блока ось закреплена, а подвижный блок поднимается и опускается вместе с грузом.

*Неподвижный блок позволяет преобразовать силу только по направлению.* В этом случае вращение происходит вокруг оси  $O$  блока (рис. 90) и плечи рычага  $d_1$  и  $d_2$  равны. Поэтому равны и силы, приложенные к рычагу:

$$F_1 = F_2.$$

Но направления сил  $F_1$  и  $F_2$  различны, а это даёт возможность совершить необходимую механическую работу более удобным способом.

*При использовании подвижного блока сила преобразуется и по направлению, и по величине.* На рис. 91 видно, что поворот рычага-блока происходит вокруг точки  $O$ . В этом случае именно точка  $O$  является осью вращения рычага. И плечо рычага  $d_1$  в два раза больше, чем плечо рычага  $d_2$  (объясните почему). Следовательно, сила  $F_1$ , прикладываемая рабочим для подъёма подвижного блока, будет меньше силы тяжести  $F_2$ , действующей на поднимаемый груз.

**Наклонная плоскость.** Ещё один простой механизм – это наклонная плоскость. *С помощью наклонной плоскости сила преобразуется и по величине, и по направлению.* Например, рабочим для подъёма и погрузки бочки (рис. 92) необходимо приложить силу  $F_1$ , равную силе тяжести. При этом сила  $F_1$  будет направлена вертикально вверх. Использование наклонной плоскости (рис. 93) позволяет прикладывать существенно меньшую силу  $F_2$ . И направлена она будет не вертикально, а вдоль наклонной плоскости.

**«Золотое правило» механики.** Простые механизмы позволяют совершить определённую механическую работу, преобразовывая силу по величине или по направлению. При этом возникает вопрос – нельзя ли с помощью простого механизма совершить бóльшую работу? Не позволит ли применение простого механизма получить выигрыш в работе? Оказывается, нет! Как выразился один из физиков: «Простые механизмы не для ленивых». Подобное правило сформулировали ещё учёные древности, назвав его «золотым правилом» механики.

Простые механизмы не дают выигрыша в работе!

Невозможность совершить при тех же условиях бóльшую работу с помощью механизма, чем без него, обусловлена законом превращения и сохранения энергии. Ведь механическая работа равна изменению энергии. А энергия тел при одних и тех же условиях не может измениться на разную величину.

Применяют простые механизмы не с целью совершения дополнительной работы, получения выигрыша в работе. Выигрыш невозможен! Механизмы применяют для того, чтобы совершить работу наиболее удобным способом. При этом в зависимости от используемого механизма выигрывают или в силе или в расстоянии.



**Доказательство «золотого правила» механики.** Допустим, некоторое тело переместилось из состояния  $B$  в состояние  $C$  (рис. 94). Обозначим потенциальную и кинетическую энергии тела в состоянии  $B$  соответственно  $E_{n0}$  и  $E_{к0}$ , а в состоянии  $C$  –  $E_n$  и  $E_k$ . Если не происходит превращения механической энергии в другие виды энергии (например, в тепловую), то в соответствии с законом сохранения энергии

$$E_k + E_n = E_{к0} + E_{n0}.$$

Преобразуем данное выражение:

$$E_k + E_n - E_{к0} = E_{n0},$$

или

$$E_k - E_{к0} = E_{n0} - E_n. \quad (22.1)$$

Если тело обладает потенциальной энергией, значит, оно взаимодействует с другими телами, на него действует сила. Пусть при переходе из состояния  $B$  в состояние  $C$  этой силой совершена работа  $A$ .

Левая часть выражения (22.1) – это изменение кинетической энергии тела  $E_k - E_{к0}$ . Оно равно работе силы, действующей на тело.

Таким образом,

$$A = E_{n0} - E_n.$$

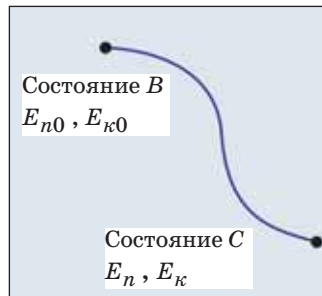


Рис. 94



При переходе тела из одного состояния в другое сила, действующая на тело, совершает определённую механическую работу. Чему она равна? Механическая работа равна разности потенциальных энергий двух состояний:  $E_{n0} - E_n$ . Значит, совершенно неважно, использовался ли при переходе из одного состояния в другое какой-нибудь механизм – работа одна и та же! Как раз это утверждение и составляет содержание «золотого правила» механики.

**Механизмы; простые механизмы: рычаг, неподвижный и подвижные блоки, наклонная плоскость; «золотое правило» механики, «золотое правило» механики и закон сохранения энергии.**

**22.1** ● Подготовьте ответ о каком-нибудь простом механизме по плану ответа о приборах, механизмах, машинах.

**22.2** ● Подготовьте доклад по теме «Простые механизмы в природе и технике», придерживаясь следующего примерного плана:

1. Определить, что называют простым механизмом.
2. Указать простые механизмы, которые имеются в рассматриваемом природном объекте или техническом устройстве. Объяснить, какова их роль в данном случае.
3. Выяснить, к чему приводит применение данного механизма – к выигрышу в силе или в расстоянии.
4. Обосновать, почему простой механизм не даёт выигрыша в работе.

**22.3** ● По наклонной плоскости длиной 8 м вкатили бочку, прикладывая силу 120 Н (рис. 93). Определите, какая механическая работа совершена при этом.

**22.4** ● С помощью подвижного блока равномерно поднимают груз массой 60 кг на высоту 10 м (рис. 91). Какая механическая работа будет совершена строителем? Массу блоков и трение в блоках не учитывать.

**22.5** ● В одном из своих произведений древнегреческий историк Плутарх повествует: «Архимед, между прочим, писал однажды своему родственнику и другу царю Гиерону, что данной силой можно поднять любую тяжесть... он сказал, что если бы у него была другая Земля, он перешёл бы на неё и сдвинул нашу.

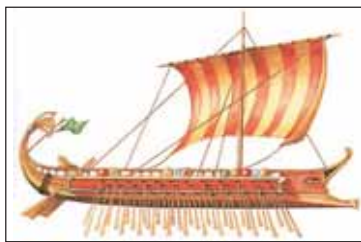


Рис. 95

Удивлённый Гиерон стал просить его доказать свои слова и привести в движение какое-нибудь большое тело малой силой. Архимед приказал посадить на царскую грузовую триеру<sup>1</sup> (рис. 95), с громадным трудом с помощью многих рук вытащенную на берег, большой экипаж, положить на неё обыкновенный груз и, усевшись на некотором расстоянии, без всяких усилий, ... стал тянуть к себе триеру так тихо и ровно, как будто она плыла по морю».

<sup>1</sup> Триера – древнегреческий корабль. Длина корабля 35–40 м. На корабле располагались 180 гребцов и 10–12 матросов.



По мнению историков техники, Архимед использовал устройство, подобное лебёдке, содержащее барабан для наматывания каната и несколько передач (рис. 96).

Какую механическую работу нужно было совершить Архимеду, чтобы переместить триеру на 2 м? Считать, что при перемещении триеры массой 200 т по берегу на неё действует сила трения 500 кН.

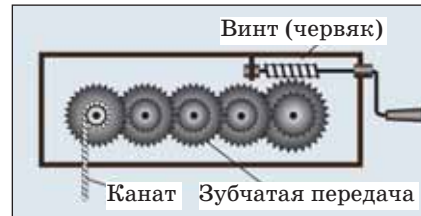


Рис. 96

### § 23. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ПРОВЕРКЕ «ЗОЛОТОГО ПРАВИЛА» МЕХАНИКИ



Сколько выигрывается в силе, столько же теряет-ся в скорости.

*Герон Александрийский (около 1 века),  
древнегреческий учёный*

Вам уже известна формулировка «золотого правила» механики.



**«Золотое правило» механики и закон сохранения энергии.** «Золотое правило» утверждает, что простые механизмы не позволяют получить выигрыша в работе. Предположим, что необходимо поднять тело на некоторую высоту (рис. 97, а). Если приложить к грузу силу  $F_1$ , равную силе тяжести, то груз будет поднят (рис. 97, б). При этом сила  $F_1$  совершит работу  $A_1$ , равную

$$A_1 = F_1 S_1,$$

где  $S_1$  – высота поднятия груза.

Благодаря совершённой работе потенциальная энергия тела увеличивается.

Используем для подъёма такого же груза на такую же высоту какой-нибудь простой механизм, например систему блоков (рис. 97, в). Пусть для подъёма тела к механизму необходимо приложить силу  $F_2$  и переместить точку приложения силы на расстояние  $S_2$ . Сила  $F_2$  совершит работу  $A_2$ , равную

$$A_2 = F_2 S_2.$$

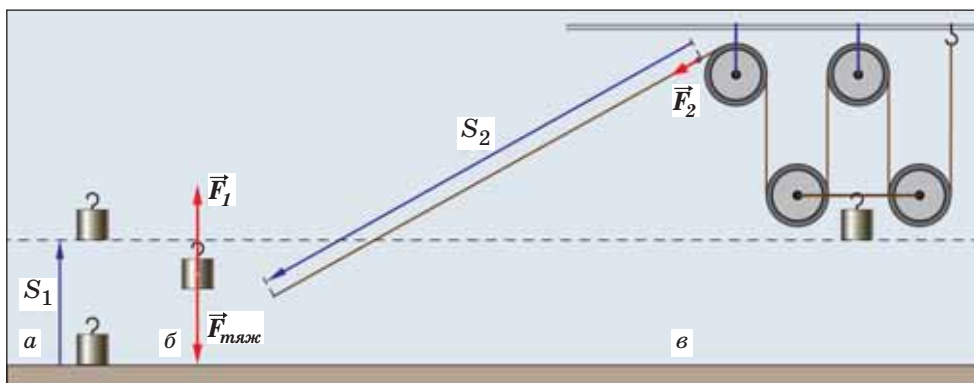


Рис. 97

Работа  $A_2$  не может быть меньше работы  $A_1$ . Ведь в обоих случаях груз поднят на одну и ту же высоту, в обоих случаях потенциальная энергия увеличится одинаково! Совершая работу при помощи механизма, нужно будет добиться такого же изменения потенциальной энергии поднимаемого тела, что и без механизма. Да ещё потребуется совершение работы для перемещения частей самого механизма.

**Лабораторная работа.** Проведём опытную проверку «золотого правила» механики для наклонной плоскости.

**Лабораторная работа по проверке «золотого правила» механики**

**Оборудование:** динамометр лабораторный, деревянная доска, каток, брусок, набор стограммовых грузов, измерительная линейка или лента.



23.1. Какую механическую работу  $A_1$  совершит сила  $F_1$  (рис. 98, а) при равномерном подъёме катка на высоту  $S_1$ ?

23.2. Какую механическую работу  $A_2$  совершит сила  $F_2$  (рис. 98, б) при равномерном движении катка вверх по наклонной плоскости длиной  $S_2$ ?

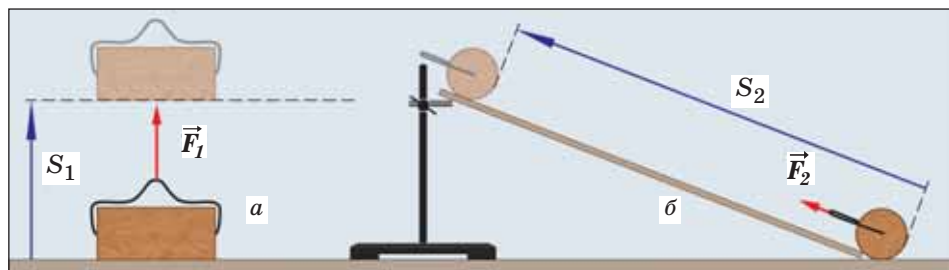


Рис. 98

«Золотое правило» утверждает, что работа  $A_1$  при непосредственном (без механизма) подъёме катка и работа  $A_2$  при подъёме по наклонной плоскости равны.

$$A_2 = A_1.$$

$$F_2 S_2 = F_1 S_1.$$



**Задание 1.** Проверка «золотого правила» механики. Измерьте перемещение катка в вертикальном направлении  $S_1$  и при использовании наклонной плоскости  $S_2$  (рис. 98, а, б). Используя лабораторный динамометр, измерьте силы  $F_1$  и  $F_2$ , прикладываемые к катку.

Повторите опыт несколько раз, меняя угол наклона плоскости. Занесите результаты опыта в таблицу:

Номер опыта	$S_1$ , м	$S_2$ , м	$F_1$ , Н	$F_2$ , Н	$A_1 = F_1 \cdot S_1$ , Дж	$A_2 = F_2 \cdot S_2$ , Дж

Сделайте вывод, выполняется ли в данном случае «золотое правило» механики.



**Задание 2.** Выясните, как зависит сила тяги  $F_2$  от угла наклона доски. Объясните результат исходя из «золотого правила механики».



23.3. Почему при выполнении заданий 1 и 2 лабораторной работы использует именно каток, а не деревянный брусок?



**Задание 3.** Выполните задание 1 лабораторной работы, но используйте при выполнении работы не каток, а деревянный брусок (его нужно «утяжелить» стограммовыми грузами). Объясните, по какой причине в этом случае имеем «проигрыш» в работе, то есть работа  $A_2$ , совершаемая с использованием наклонной плоскости, всегда больше, чем работа  $A_1$ , совершаемая при подъёме бруска без наклонной плоскости.

**23.1** ● Для подъёма бочки на высоту 1,5 м рабочим необходимо приложить силу  $F_1 = 600$  Н (рис. 92). Какой силы  $F_2$  будет достаточно для подъёма бочки, если рабочие воспользуются наклонной плоскостью длиной 6 м (рис. 93)? Чему равен при этом выигрыш в силе? Трение не учитывать.

**23.2** ● Используя подвижный блок, груз подняли на высоту 6 м (рис. 91). На какую длину при этом вытянули свободный конец верёвки? Какой массы груз поднят, если строителем совершена работа 2,4 кДж? Массу блоков и трение в блоках не учитывать.

**23.3** ● С помощью неподвижного блока (рис. 90) равномерно поднимают груз массой 45 кг на высоту 4 м за 3 с. Определите, какую мощность развивают при подъёме груза. Массу блока и трение в блоке не учитывать.



Рис. 99



Рис. 100

**23.4** Санки удерживают на склоне горы, прикладывая силу  $150\text{ Н}$  (рис. 99). Чему равна высота горки? Масса санок вместе с сидящим в них человеком  $50\text{ кг}$ , длина склона  $10\text{ м}$ . Трение не учитывать. (Подсказка. Используйте при решении задачи «золотое правило» механики.)

**23.5** Учеником осуществлялась экспериментальная проверка «золотого правила» механики для наклонной плоскости (рис. 100). При этом им были получены следующие данные:

- высота наклонной плоскости  $15\text{ см}$ ;
  - длина наклонной плоскости  $50\text{ см}$ ;
  - масса деревянного бруска с тремя стограммовыми грузами  $340\text{ г}$ ;
  - показание динамометра при равномерном движении бруска с грузами по наклонной плоскости  $1,6\text{ Н}$ .
- Выполняется ли в данном случае «золотое правило» механики? Ответ обосновать.

## § 24. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА»



Равные тяжести на равных длинах уравновешиваются, на неравных же длинах не уравновешиваются, но перевешивают тяжести на большей длине.

*Из сочинения Архимеда  
«О равновесии плоских фигур»*

Вы уже знаете, что рычаг – один из простых механизмов и действие простых механизмов подчиняется «золотому правилу» механики.



**Вращающее действие силы.** Если на рычаг действует сила, то это приводит к повороту рычага. Например, гаечный ключ – рычаг даёт возможность открутить сильно затянутую гайку. Рычаг-руль позволяет легко повернуть колесо велосипеда.

Выясним на опыте, от чего зависит вращающее действие силы. Возьмём деревянный или фанерный диск с отверстием в центре. Закрепим его на оси  $O$  в вертикальной плоскости так, чтобы он свободно вращался (рис. 101). По краю диска (точки  $A, B, C, D$ ) установим крепления для груза.

Если в одной из этих точек прикрепить груз, то под действием приложенной силы диск повернётся. В точке  $D$  прикреплён демонстрационный динамометр. Он покажет значение силы, необходимой для удержания диска в равновесии при действии на диск вращающей силы.

Линию, вдоль которой направлена сила  $F$ , называют линией действия силы –  $A'A$ ,  $B'B$ ,  $C'C$ .



24.1. Как находится расстояние от точки до прямой?

24.2. Покажите на рисунке 101 расстояние от точки  $O$  (оси вращения) до прямых  $A'A$ ,  $B'B$ ,  $C'C$ . Какое из указанных расстояний больше?

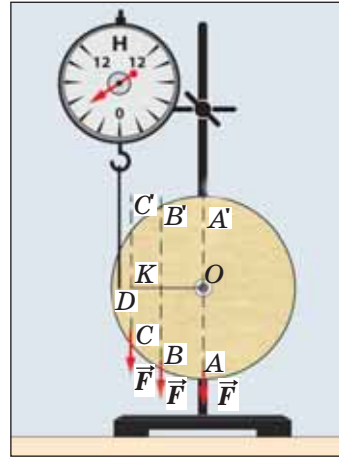


Рис. 101

**Расстояние (длину перпендикуляра) от оси вращения до линии действия силы называют плечом силы.** Так, например, плечо силы  $F$ , приложенной в точке  $C$  (рис. 101), равно  $OK$ , а плечо силы  $F$ , приложенной в точке  $A$ , равно нулю.



24.3. В каком случае плечо силы  $F$ , действующей на диск (рис. 101), больше: если сила приложена в точке  $B$  или в точке  $C$ ?

24.4. Может ли плечо силы быть равным нулю? в каком случае?

Прикрепим гирию массой  $1\text{ кг}$  к диску в точке  $A$  (рис. 101). При этом показания динамометра практически равны нулю. Значит, сила  $F$ , приложенная в точке  $A$ , не производит вращающего действия. Изменим точку приложения силы  $F$  – перенесём гирию поочерёдно в точки  $B$ ,  $C$ . При этом каждый раз плечо силы увеличивается. Динамометр соответственно покажет значения силы  $5$ ;  $8,5\text{ Н}$ , то есть вращающее действие силы увеличивается.

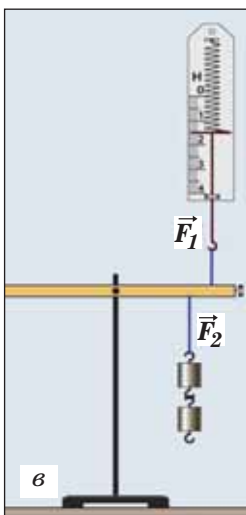
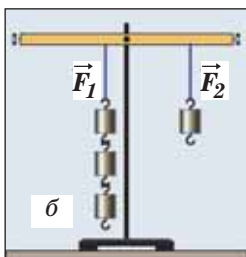
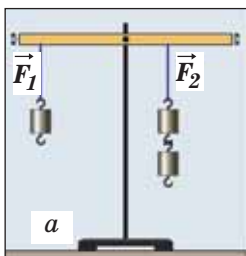
Почему же вращающее действие силы  $F$  увеличивается? Ведь величина (модуль) силы не меняется; не меняется и расстояние от оси до точки приложения силы ( $OA = OB = OC$ ). Оказывается, *вращающее действие данной силы зависит от плеча силы*. Чем больше плечо силы, тем большее вращающее действие производится силой.

*Вращающее действие силы зависит и от величины силы.* В этом легко убедиться с помощью установки, изображённой на рис. 101, используя гирию большей массы.

**Чем больше модуль силы и плечо силы, тем больше вращающее действие силы.**

**Лабораторная работа.** Выясним на опыте, при каком условии рычаг будет находиться в равновесии.

**Оборудование:** рычаг лабораторный с осью, динамометр лабораторный, штатив с принадлежностями, набор стограммовых грузов, измерительная линейка, полоска резины.



**Задание 1.** Выяснение условия равновесия рычага.

Добейтесь равновесия рычага для случаев, изображённых на рис. 102, а, б, в.

Определите силы  $F_1$  и  $F_2$ , действующие на рычаг. Измерьте плечи сил  $d_1$  и  $d_2$ .

Данные занесите в таблицу:

Номер опыта	$F_1$ , Н	$F_2$ , Н	$d_1$ , см	$d_2$ , см	$F_1 d_1$ , Н · см	$F_2 d_2$ , Н · см

Сравните значения  $F_1 d_1$  и  $F_2 d_2$ . Сделайте вывод.

Опыт показывает, что рычаг находится в равновесии, когда

$$F_2 d_2 = F_1 d_1 \quad (24.1)$$

или

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{d_1}{d_2}.$$

Рычаг находится в равновесии, если произведение модуля силы, вращающей рычаг по часовой стрелке, на плечо силы равно произведению модуля силы, вращающей рычаг против часовой стрелки, на плечо этой силы.

Условие (правило) равновесия рычага было установлено знаменитым механиком и математиком древности Архимедом.

**Задание 2.** Определите массу лапки, кольца от штатива, используя рычаг и стограммовый груз.

**Задание 3.** Определите силу упругости, возникающую при растяжении на 1–2 см полоски резины, используя рычаг и стограммовый груз.

Рис. 102

**Архимед (ок. 287–212 до нашей эры).** Древнегреческий учёный, математик и изобретатель. Сконструированные им аппараты и машины воспринимались современниками как чудеса техники. Архимед создал теорию рычага, выяснил условие плавания тел.



**Условие равновесия рычага и «золотое правило» механики.** Условие равновесия рычага является следствием «золотого правила» механики, а значит, закона сохранения энергии. Докажем это.

Возьмём рычаг, который может вращаться вокруг оси  $O$  (рис. 103). Пусть на левую часть рычага действует сила  $F_1$ , плечо которой равно  $d_1$ , а на правую часть рычага – сила  $F_2$ , плечо которой равно  $d_2$ . Пусть рычаг находится в равновесии.

Мысленно представим, что под действием приложенных сил рычаг повернулся на малый угол. Тогда правая часть рычага опустилась бы и точка приложения силы  $F_2$  переместилась из точки  $C$  в точку  $C'$ .

Сила  $F_2$  совершила бы при этом механическую работу  $A_2$ :

$$A_2 = F_2 S_2,$$

где  $S_2$  – перемещение точки приложения силы  $F_2$ .

При таком мысленном повороте левая часть рычага поднимется, точка приложения силы  $F_1$  переместится на расстояние  $S_1$ . Сила  $F_1$  совершила бы при этом отрицательную механическую работу  $A_1$ :

$$A_1 = - F_1 S_1.$$

Знак «минус» в последней формуле подчёркивает то, что направление силы  $F_1$  и направление перемещения  $S_1$  противоположны.

В соответствии с «золотым правилом» механики применение рычага не может привести к выигрышу в работе.

Следовательно, численные значения механической работы  $A_2$  и работы  $A_1$  равны, а значит,

$$F_2 S_2 = F_1 S_1 .$$

Отсюда

$$\frac{F_2 S_2}{F_1 S_1} = 1. \quad (24.2)$$

Рассмотрим треугольники  $B'BO$  и  $C'CO$  (рис. 103). Данные треугольники подобны. (Докажите это самостоятельно.)

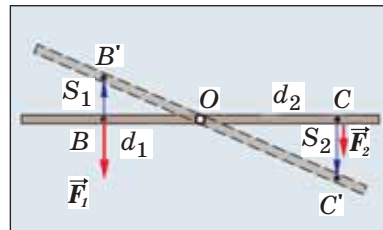


Рис. 103



Из подобия треугольников следует, что сторона  $S_2$  больше стороны  $S_1$  во столько раз, во сколько раз сторона  $d_2$  больше стороны  $d_1$ .

То есть

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Подставим это выражение в формулу (24.2).

Тогда

$$\frac{F_2 d_2}{F_1 d_1} = 1.$$

Или

$$F_2 d_2 = F_1 d_1. \quad (24.3)$$

Но  $d_2$  – это, очевидно, плечо силы  $F_2$ , а  $d_1$  – плечо силы  $F_1$ , т. е. левая часть равенства (24.3) – это произведение модуля силы, вращающей рычаг по часовой стрелке, на плечо силы, а правая часть – произведение модуля силы, вращающей рычаг против часовой стрелки, на плечо этой силы.

Таким образом, используя «золотое правило» механики, мы пришли к установленному на опыте условию равновесия рычага.

Плечо силы, вращающее действие силы, **условие равновесия рычага**, условие равновесия рычага и закон сохранения энергии.

**24.1** ● Будет ли рычаг находиться в равновесии (рис. 104)? Ответ обосновать. С какой целью каждый конец рычага снабжён винтом с гайкой?

**24.2** ● На диск, закреплённый на оси  $O$ , действует пара сил  $-F_1$  и  $F_2$  (рис. 105).  $F_1 = 25$  Н,  $F_2 = 30$  Н. Будет ли вращаться диск, и если да, то в каком направлении? (Подсказка. Воспользуйтесь линейкой.)

**24.3** ● На рисунке 106 изображены десятичные весы. В таких весах плечо, к которому крепится чашка с гирями, в 10 раз длиннее плеча, к которому крепится груз. Объясните принцип действия таких весов. Почему при взвешивании на десятичных весах для нахождения массы груза массу гирь умножают на 10?

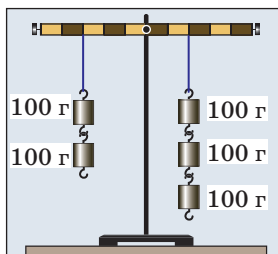


Рис. 104

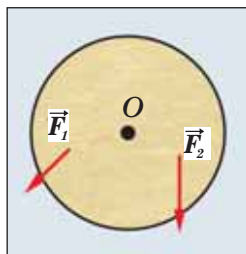


Рис. 105

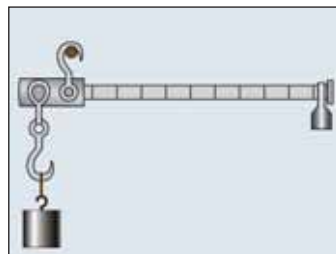


Рис. 106

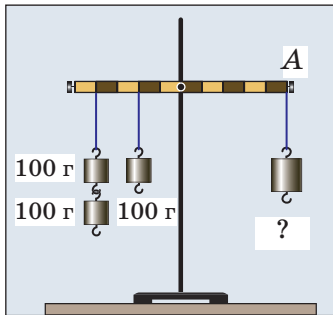


Рис. 107

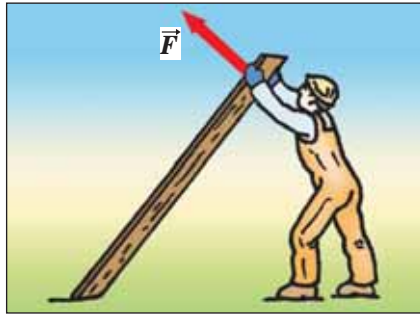


Рис. 108

**24.4** Груз какой массы необходимо закрепить в точке А, чтобы рычаг находился в равновесии (рис. 107)?

**24.5** На рисунке 108 показан рабочий, удерживающий доску. В каком случае он прикладывает меньшую силу: когда эта сила направлена перпендикулярно доске (как показано на рисунке) или когда она направлена вертикально?

### § 25. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ.

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ»



Выигрыш с проигрышем на одних санях ездят.

*Русская пословица*

Вам уже известно, что простые механизмы не дают выигрыша в работе.

Представьте себе, каково было удивление учёных, изобретателей, механиков древности, когда они обнаружили один поразительный факт. Какие бы простые механизмы – рычаги, блоки, наклонные плоскости – они ни использовали, никогда не удавалось «выиграть» в работе. Различные соединения, комбинации простых механизмов тоже не позволяли получить выигрыш в работе. Это удивление древних отразилось даже в названии знаменитого правила – его называли не просто правилом, а «золотым» (драгоценным!) правилом механики. Лишь дальнейшее развитие науки позволило объяснить его на основе закона сохранения энергии.

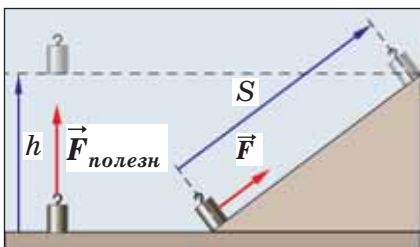


Рис. 109

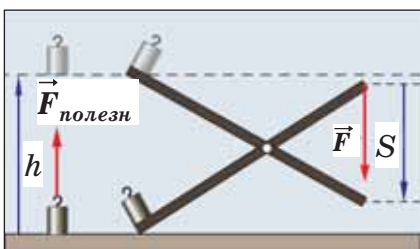


Рис. 110

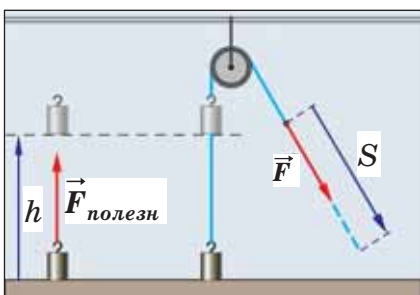


Рис. 111

### Полезная работа. Полная работа.

Если не использовать простой механизм, то для подъёма груза (рис. 109–111) необходимо приложить к нему некоторую силу. Обозначим её как полезную силу  $F_{\text{полезн}}$ . Ясно, что при равномерном подъёме груза сила  $F_{\text{полезн}}$  численно равна силе тяжести  $F_{\text{тяж}}$ , действующей на поднимаемый груз.

$$F_{\text{полезн}} = F_{\text{тяж}}.$$

Пусть груз поднят на некоторую высоту  $h$  (рис. 109–111). Назовём работу по подъёму груза **полезной работой**  $A_{\text{полезн}}$ . Как рассчитать эту работу, совершённую силой  $F_{\text{полезн}}$ ?

$$A_{\text{полезн}} = F_{\text{полезн}} h.$$

Если же подъём груза производить с помощью простого механизма, то к механизму необходимо приложить некоторую силу  $F$  (рис. 109–111). При подъёме груза точка приложения силы  $F$  перемещается на расстояние  $S$  (рис. 109–111). Назовём работу, совершённую силой, приложенной к механизму, **полной работой**  $A_{\text{полн}}$ . Как рассчитать работу, совершённую силой  $F$ ?

$$A_{\text{полн}} = FS.$$



25.1. Как формулируется «золотое правило» механики?

**Коэффициент полезного действия.** Ясно, что на практике при использовании простого механизма полная работа  $A_{\text{полн}}$  всегда больше полезной работы  $A_{\text{полезн}}$ . Действительно, если используется наклонная плоскость, то дополнительно требуется совершение работы по преодолению силы трения. Если используется рычаг, то придётся вместе с грузом поднимать и сам рычаг. Если использовать блок, то помимо подъёма груза необходимо совершать ещё работу по подъёму самого блока, преодолевать трение в оси блока.

Таким образом, при использовании любого механизма полная работа  $A_{полн}$  всегда больше, чем полезная работа  $A_{полезн}$ .

$$A_{полн} > A_{полезн}.$$

Конечно, изготавливая механизм, стремятся, чтобы большая часть работы, совершаемой при помощи механизма, шла именно на поднятие груза. Иными словами, необходимо, чтобы полезная работа  $A_{полезн}$  составляла возможно бóльшую часть от полной работы  $A_{полн}$ . Для того чтобы характеризовать качество механизма, эффективность совершения им работы, введена физическая величина – *коэффициент полезного действия* (сокращённо обозначается *КПД*). Коэффициент полезного действия показывает, какую долю составляет полезная работа от полной работы.

Коэффициент полезного действия механизма – это величина, равная отношению полезной работы к полной работе.

$$КПД = \frac{A_{полезн}}{A_{полн}} \cdot 100\% . \quad (25.1)$$

КПД выражается в процентах.

**Задача.** Для поднятия груза массой 100 кг рабочий использует лом в качестве рычага (рис. 112). Модуль силы  $F$ , прикладываемой рабочим, 230 Н. При подъёме груза на 2 см точка приложения силы  $F$  опустилась на 10 см. Вычислите КПД рычага.

<p><i>Дано:</i> Лом-рычаг <math>m = 100</math> кг <math>F = 230</math> Н <math>h = 2</math> см <math>S = 10</math> см</p> <hr style="border: none; border-top: 1px solid black;"/> <p><math>КПД</math> –?</p>	<p><i>СИ:</i></p> <p>0,02 м 0,1 м</p>	<p><i>Решение:</i> Для вычисления КПД необходимо определить полезную работу <math>A_{полезн}</math> и полную работу <math>A_{полн}</math>. Полезная работа – это работа по подъёму груза массой <math>m</math>. Для равномерного перемещения вверх к грузу необходимо приложить силу <math>F_{полезн}</math>, равную силе тяжести:</p>
---	---	--

$$F_{полезн} = mg.$$

Известно, что груз переместился на расстояние  $h$ . Следовательно, можно определить полезную работу  $A_{полезн}$ :

$$A_{полезн} = F_{полезн} h.$$

$$A_{полезн} = mgh. \quad (25.2)$$



Рис. 112

Полная работа – это работа постоянной силы  $F$ , направленной вдоль перемещения точки приложения силы. Известно, что точка приложения силы  $F$  переместилась на расстояние  $S$ . Следовательно, можно определить полную работу  $A_{полн}$ :

$$A_{полн} = FS. \quad (25.3)$$

Используя соотношения (25.2) и (25.3), определим КПД:

$$КПД = \frac{A_{полезн}}{A_{полн}} \cdot 100\%.$$

$$КПД = \frac{mgh}{FS} \cdot 100\%.$$

$$КПД = \frac{100 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 0,02 \text{ м}}{230 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м}} \cdot 100\%.$$

$$КПД = 85\%.$$

Ответ: КПД = 85%.



25.2. Может ли КПД механизма быть больше 100%?

### Лабораторная работа «Определение КПД наклонной плоскости»

**Оборудование:** динамометр лабораторный, штатив с принадлежностями, доска (наклонная плоскость), измерительная лента, брусок деревянный, набор стограммовых грузов.

*Ход работы:*



**Задание 1.** Определите КПД наклонной плоскости (рис. 109). В качестве поднимаемого груза используйте деревянный брусок, «утяжелённый» стограммовыми грузами.



25.3. Какие физические величины необходимо определить, чтобы вычислить КПД наклонной плоскости?

25.4. Какие физические величины необходимо измерить, чтобы вычислить работу  $A_{полезн}$ , совершаемую при подъёме груза (рис. 109)?

25.5. Какие физические величины необходимо измерить, чтобы вычислить работу  $A_{полн}$ , совершаемую при использовании наклонной плоскости (рис. 109)?



**Задание 2.** Выясните, зависит ли КПД от угла наклона доски (наклонной плоскости).

**Задание 3.** Выясните, зависит ли КПД от качества обработки соприкасающихся поверхностей бруска и наклонной плоскости.

Выполнив лабораторную работу, вы убедились, что работа  $A_{\text{полезн}}$ , совершаемая при подъёме груза, действительно меньше работы  $A_{\text{полн}}$ , совершаемой при использовании наклонной плоскости. Вследствие этого КПД наклонной плоскости меньше 100 %.

Коэффициент полезного действия наклонной плоскости зависит также от угла её наклона и качества обработки поверхностей бруска и наклонной плоскости.

### Коэффициент полезного действия (КПД). КПД наклонной плоскости.

**25.1** ● Подготовьте ответ о коэффициенте полезного действия по плану ответа о физической величине.

**25.2** ● Для погрузки тяжёлого оборудования на борт грузовой лодки геолог использовал настил из досок в качестве наклонной плоскости (рис. 113). При погрузке совершена полезная работа 900 Дж, а полная работа составила 2 кДж. Определите КПД наклонной плоскости. Какая работа совершена по преодолению силы трения? Чему равна сила трения, если длина доски 4 м?

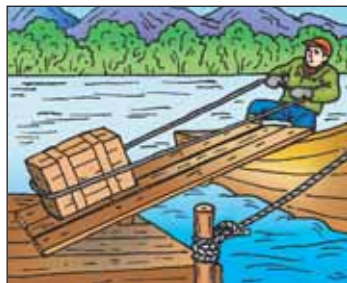


Рис. 113

**25.3** ● С помощью подвижного блока строитель поднимает ящик с кирпичами, прикладывая к нему силу 300 Н (рис. 91). Определите КПД подвижного блока, если для совершения полезной работы 1,5 кДж верёвка блока должна быть протянута на 6 м.

**25.4** ● Башенный кран поднимает груз массой 5 т на высоту 20 м за 45 с. Чему равен коэффициент полезного действия крана, если при подъёме груза двигатель развивает мощность 30 кВт?

**25.5** ● Бетонный раствор поднимают в бабье на третий этаж строящегося дома при помощи подвижного блока. В первом случае бабью заполняют раствором на одну треть, а во втором случае – полностью. В каком случае коэффициент полезного действия механизма выше? Ответ обосновать.

## Самое важное в разделе «Энергия. Работа. Мощность»

1. Механическая энергия – мера движения и взаимодействия тел. Механическую энергию подразделяют на *кинетическую энергию* (энергию движения) и *потенциальную энергию* (энергию взаимодействия).

2. Происходят превращения механической энергии

$$E_k \rightleftharpoons E_n, \text{ Дж.}$$

Всегда выполняется **ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ!**

3. Если сила, действующая на тело, изменяет его кинетическую энергию, то эта сила совершает механическую работу:

$$A = E_k - E_{k0}, \text{ Дж.}$$

4. Механическая работа постоянной силы, направленной вдоль перемещения тела, равна

$$A = FS.$$

5. Мощность характеризует быстроту совершения работы:

$$N = \frac{A}{t}, \text{ Вт.}$$

6. Работу удобнее совершать, используя *простые механизмы* (рычаг, блок, наклонную плоскость).

7. В соответствии с законом сохранения энергии *простые механизмы не дают выигрыша в работе.*

8. Эффективность механизма характеризуется *коэффициентом полезного действия*:

$$КПД = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} \cdot 100\%.$$

**III.1** ● Почему скорость спортсмена при езде на велосипеде существенно больше скорости бега того же спортсмена, ведь и в том и в другом случае работу совершают мышцы спортсмена?

**III.2** ● Может ли сила трения покоя совершить механическую работу? Ответ обосновать.

**III.3** ● Может ли стоящий на полу человек массой 60 кг поднять при помощи неподвижного блока груз, масса которого 70 кг?



**III.4.** Составьте задачу по теме «Простые механизмы. “Золотое правило” механики. Условие равновесия рычага». (Общие указания по составлению физической задачи приведены в задании 6.7 на с. 38.)



**III.5.** Составьте задачу по теме «Коэффициент полезного действия».



## P. S.



В этом разделе рассмотрены очень важные вопросы. Оказывается, физические явления, происходящие, например, при взаимодействии тел, можно охарактеризовать не только такой величиной, как сила, но и энергией. Образно говоря, о физических явлениях можно рассказать не только «на языке силовых взаимодействий», но и «на языке энергетических представлений».

Вы познакомились с первым (но не единственным!) законом сохранения – законом сохранения энергии. Однако много важных «энергетических» вопросов ещё не изучалось и не обсуждалось – с ними вы встретитесь в курсе физики старших классов.

– Вам известно, что движущееся тело обладает кинетической энергией, которая определяется массой тела и скоростью его движения. *Но не говорилось, как рассчитать кинетическую энергию тела.*

– Вы знаете, от каких физических величин зависит потенциальная энергия тел, взаимодействующих силой тяготения или силой упругости. *Но формулы для расчёта не приводились.*

– Вам известно, как рассчитать работу постоянной силы, направленной вдоль (или против) движения тела. *Но не проводился расчёт работы силы, направленной под некоторым углом к перемещению тела.*

– Вы знаете, что работа силы, приложенной к телу, приводит к изменению его кинетической энергии. *Но мы не умеем рассчитать, какую скорость приобретёт тело при этом.*

– Вы знаете, как рассчитать КПД простых механизмов. *Но нам не известен способ расчёта, например, КПД двигателя автомобиля.*

– Помимо механической существуют и другие виды энергии. *Но немеханические виды энергии ещё не изучались.*

## Раздел 4. Внутреннее строение вещества

В этом разделе вы узнаете, каково строение молекул и атомов – тех частиц, из которых состоят все вещества. Вы узнаете причины, по которым различаются свойства газов, жидкостей и твёрдых тел.

Также вы научитесь производить расчёты, которые, например, позволяют определить массу деревянного бруска, даже если вы располагаете только линейкой, или установить, какую работу необходимо совершить, чтобы поднять пятилитровое ведро воды.



Вспомните:

- Что такое атомы и молекулы?
- Какие вещества встречаются в природе и в газообразном, и в жидком, и в твёрдом состояниях?
- Почему охотничьи собаки способны искать добычу по следу?
- Каким прибором измеряют температуру? Как действует такой прибор?

### § 26. Строение вещества. Атомы и молекулы

Атомы и молекулы

Размеры и число частиц вещества

Молекулы – что это?

Состав молекулы воды

### § 27. Электрические силы. Электрон

Новые силы

Электрический заряд. Электрические силы

Электрон – частица с наименьшим электрическим зарядом

### § 28. Строение атома

«Минус» и «плюс» в атоме

Опыт Резерфорда

Ядро атома

### § 29. Ядро атома

Состав ядра атома

Деление урана

### § 30. Движение молекул. Диффузия. Температура

Частицы вещества движутся

Диффузия в природе и технике

Броуновское движение

Температура. Тепловые явления

### § 31. Три состояния вещества. Особенности теплового движения частиц в газах, жидкостях и твёрдых телах

Три состояния вещества

Свойства газов

Свойства жидкостей

Свойства твёрдых тел

Кристаллы – основа современной электроники

### § 32. Плотность вещества

Что характеризует плотность

Определение плотности и формула для её расчёта

Единицы измерения

### § 33. Решение задач по теме «Плотность вещества»

Виды задач

Примеры решения задач

### § 34. Лабораторная работа «Определение плотности вещества»

Лабораторная работа

Расчёт погрешности измерений

Самое важное в разделе «Внутреннее строение вещества»

P. S.

## § 26. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА. АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ



Выслушай то, что скажу, и ты сам,  
несомненно, признаешь,  
Что существуют тела, которых  
мы видеть не можем.

*Из поэмы «О природе вещей»  
древнеримского философа и поэта Лукреция Кара  
(1 век до нашей эры)*

Вам уже известно, что физические тела состоят из различных веществ.

**Атомы и молекулы.** Наверное, в наше время каждый школьник знает ответ на вопрос: «Каково строение вещества?»

Вещество состоит из мельчайших частиц – атомов и молекул.

Впервые предположение о том, что тела не сплошные, а состоят из отдельных частиц, было высказано древнегреческим учёным Демокритом 2500 лет тому назад. Вот как его научные идеи были изложены в поэме «О природе вещей» древнеримским философом и поэтом Лукрецием Каром:

«...запахи мы обоняем различного рода,  
Хоть и не видим совсем, как в ноздри они проникают...  
И, наконец, на морском берегу, разбивающем волны,  
Платье сыреет всегда, а на солнце вися, оно сохнет;  
Видеть, однако, нельзя, как влага на нём оседает,  
Как и не видно того, как она исчезает от зноя.  
Значит, дробится вода на такие мельчайшие части,  
Что недоступны они совершенно для нашего взгляда».



26.1. Какие явления позволили сделать вывод, что вещества состоят из отдельных мельчайших частиц?

Проведём ещё некоторые наблюдения. Опустим горлышко колбы в воду (рис. 114). Нагреем колбу – наблюдается выделение пузырьков воздуха. Значит, при нагревании происходит расширение воздуха. При нагревании расширяется и жидкость – это легко проверить, пронаблюдав за поведением столбика жидкости термометра (рис. 115). Расширение твёрдых тел при нагревании подтверждает опыт со стальным шариком (рис. 116). В холодном состоянии шарик свободно проходит через кольцо (рис. 116, а), а после нагревания – расширяется и застревает в кольце (рис. 116, б).

Наблюдаемые явления легко объяснить, предположив, что вещества состоят из отдельных частиц, между которыми есть пустоты. При нагревании частицы отодвигаются друг от друга и объём тела увеличивается, а при охлаждении частицы сближаются и объём тела уменьшается.



Рис. 114

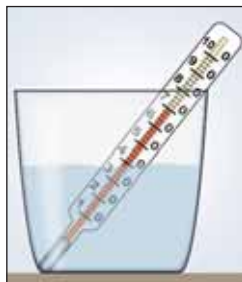


Рис. 115

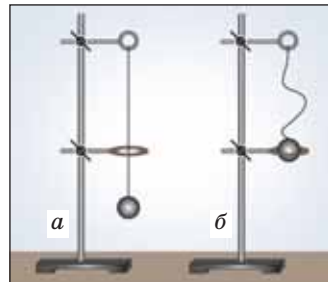


Рис. 116

Если все вещества состоят из отдельных частиц, то почему же и капля воды, и кусочек пластилина, и железный гвоздь кажутся нам сплошными? Дело в том, что **частицы вещества крайне малы!**

**Размеры и число частиц вещества.** Размеры частиц (атомов и молекул) составляют около сотой части миллионной доли сантиметра. Представить себе столь малое число невозможно. Поэтому воспользуемся сравнениями. Молекула во столько раз меньше яблока, во сколько раз яблоко меньше Земли. Молекула во столько раз меньше человека, во сколько раз человек меньше Солнца. Если бы молекула увеличилась до размера карандаша, то карандаш при таком увеличении коснулся бы Луны.

Так как частицы (атомы и молекулы) крайне малы, то в любом теле их содержится великое множество. Вновь обратимся к сравнениям. Выдохните воздух из лёгких. Если все молекулы воздуха после выдоха равномерно перемешать по планете, то каждый житель планеты при вдохе получит по молекуле, побывавшей в ваших лёгких. Представьте себе небольшой стеклянный флакон объёмом  $1 \text{ см}^3$ . Пусть флакон совершенно пуст, в нём совсем нет воздуха. Если в пробке флакона проделать маленькое отверстие такого размера, чтобы через него во флакон проникало каждую секунду 100 миллионов молекул воздуха, то тогда до полного заполнения потребуется 9000 лет. Вообразите, сколько же тогда молекул в  $1 \text{ см}^3$  воздуха! Пусть имеется столько кирпичей, сколько молекул в маленькой капельке воды объёмом  $1 \text{ мм}^3$ . Подсчитано, что эти кирпичи, будучи плотно уложены, покроют поверхность всей суши земного шара слоем высотой в один километр!

Несмотря на невообразимую малость атомов и молекул, в наше время учёные-физики имеют в своем распоряжении приборы, позволяющие получить изображения отдельных (!) атомов и молекул. На рисунке 117 показано изображение атомов золота, полученное с помощью одного из таких приборов. Тем самым современной наукой полностью подтверждена идея о том, что вещество состоит из отдельных частиц (атомов и молекул). Из гипотезы<sup>1</sup> эта идея превратилась в научный факт!



Рис. 117

<sup>1</sup> Гипотеза – научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления. Для того чтобы стать достоверным научным фактом, гипотеза должна выдержать проверку опытом.

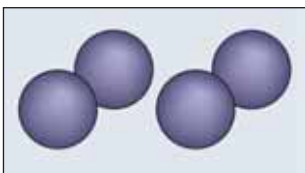


Рис. 118. Модели молекул кислорода



Рис. 119. Модели молекул водорода

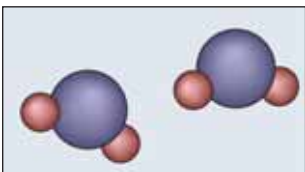


Рис. 120. Модели молекулы воды

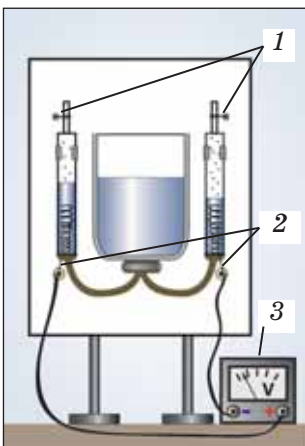


Рис. 121

**Молекулы – что это?** Говоря о частицах вещества, мы употребляем научные термины – молекулы и атомы. А в чём же различие между молекулами и атомами? Учёные выяснили, что молекулы состоят из отдельных атомов. Так, например, молекула кислорода состоит из двух атомов кислорода, а молекула водорода – из двух атомов водорода. На рисунках 118, 119 показаны схематические изображения молекул кислорода и водорода. Кислород и водород – это два различных вещества, имеющие разные свойства. Кислород входит в состав воздуха, именно кислород необходим нам для дыхания, он поддерживает горение, а водород – это лучшее топливо для космических ракет.

Молекула – наименьшая частица того или иного вещества, состоящая из определённого набора атомов.

Если в молекуле заменить одни атомы другими, то это будет уже молекула другого вещества. Так, например, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода (рис. 120). Состав и строение молекулы воды отличается от строения молекул кислорода и водорода, поэтому вода – другое вещество.

**Состав молекулы воды.** То, что в состав молекулы воды входят атомы кислорода и водорода, можно показать на опыте. В опыте используется прибор, состоящий из трёх вертикально расположенных и соединённых между собой сосудов (рис. 121). Два сосуда – левый и правый – имеют сверху краны 1, а центральный сосуд открыт. В левый и правый сосуды введены стальные проволоки, которые с помощью контактов 2 и проводников подключены к источнику тока 3. Через центральный сосуд в прибор наливают воду при открытых кранах так, чтобы вода заполнила левый и правый сосуды полностью до кранов. После этого краны закрывают и включают источ-

ник тока. Под действием электрического тока молекулы воды распадаются на атомы кислорода и водорода. Атомы кислорода соединяются попарно в молекулы кислорода, а атомы водорода – в молекулы водорода. Образующиеся газы собираются в вертикально расположенных трубках, из которых они постепенно вытесняют воду. Подтвердим, что полученные газы – это кислород и водород. Выпустим кислород струёй на тлеющую длинную тонкую щепку – она ярко вспыхнет (кислород поддерживает горение). Водород выпустим в опрокинутую над краном пробирку. Поднесём горящую спичку – раздастся хлопок, свидетельствующий о быстром сгорании водорода.

Молекулы одного и того же вещества одинаковы и не отличаются друг от друга, так как они состоят из одних и тех же атомов. И совершенно не важно, как, например, получена вода – взята ли она из капли дождя, при таянии льда или выжата из огурца. Во всех случаях молекулы воды будут содержать по два атома водорода и одному атому кислорода.



26.2. Одинаковы или различны молекулы разных веществ?

У одних веществ молекула состоит из нескольких атомов, а у других – из десятков и сотен атомов. Так, к примеру, молекула сахара содержит 12 атомов углерода, 11 атомов кислорода и 22 атома водорода. Простые молекулы ненамного больше атомов, а размеры сложных молекул в десятки раз превышают размеры атомов.

Свойства различных веществ, способы их получения и превращения в другие вещества изучает наука *химия*. В химии широко используются физические знания о составе и строении молекул.

### Атомы, молекулы, размеры частиц вещества, число частиц в веществе, химия, состав молекулы воды.

**26.1** ● Как называют частицы, из которых состоят различные вещества?

**26.2** ● Почему свойства различных веществ неодинаковы?

**26.3** ● Сделайте из цветного пластилина модели двух молекул воды. Затем из «атомов» этих моделей составьте модели молекул кислорода и водорода. Сколько молекул кислорода и водорода можно получить из двух молекул воды?

**26.4** ● Исходя из современных научных представлений, прокомментируйте<sup>1</sup> следующие строки древнеримского поэта Лукреция Кара:

«Так и кольцо изнутри, что долгое время на пальце  
Носится, из году в год становится тоньше и тоньше...  
Нам очевидно, что вещь от стирания становится меньше,  
Но отделение тел, из неё каждый миг уходящих,  
Нашим глазам усмотреть запретила природа ревниво».

<sup>1</sup> Комментарий – объяснение, толкование к какому-нибудь тексту.



**26.5** При химической реакции горения происходит соединение атомов углерода и кислорода (углерод входит в состав любого топлива – нефти, каменного угля, горючего газа, а кислород входит в состав воздуха). В результате горения образуется углекислый газ. Молекула углекислого газа состоит из одного атома углерода и двух атомов кислорода. Сколько молекул кислорода необходимо для образования ста молекул углекислого газа?

## § 27. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИЛЫ. ЭЛЕКТРОН



Льнёт, как шёлковая ленточка к стене.

*Русская пословица*

Вы уже имеете представление о силе всемирного тяготения, силе упругости и силе трения.

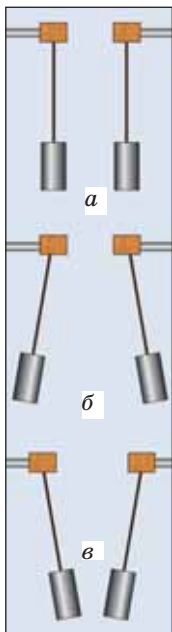


Рис. 122

**Новые силы.** При изучении механических явлений мы узнали, что тела могут взаимодействовать, например, силой всемирного тяготения (её частный случай – сила тяжести). Но оказывается, это не единственная сила в природе, которая может действовать на тела. Учёные выяснили, что существуют и другие виды сил, имеются и другие виды взаимодействия между телами. Обратимся к опыту. Расположим две лёгкие гильзы из металлической фольги на нитях на некотором расстоянии друг от друга (рис. 122, а). Прикоснёмся к обеим гильзам резиновой трубкой, предварительно потёртой о мех, – гильзы оттолкнутся друг от друга (рис. 122, б). Изменим опыт. К одной из гильз прикоснёмся резиновой трубкой, потёртой о мех, а к другой – стеклянной палочкой, потёртой о шёлк. В этом случае гильзы притягиваются (рис. 122, в).

В рассмотренном опыте взаимодействие гильз не объяснить, конечно же, силой всемирного тяготения. На гильзы действуют какие-то иные, ранее неизвестные вам силы. Эти силы назвали электрическими.

**Электрический заряд. Электрические силы.** Как же учёные объясняют возникновение электрических сил? Вы уже знаете, все тела состоят из частиц – или из отдельных атомов, или из атомов, соединившихся в молекулы. Оказывается, **атомы**, в свою очередь, **состоят из ещё более мелких частиц**. Между отдельными частицами, составляющими атом, конечно же, действуют силы всемирного тяготения. Но самое важное, что между этими частицами действуют силы притяжения и отталкивания, которые несравненно больше сил всемирного тяготения.

Учёными установлено, что помимо всемирного тяготения между некоторыми частицами существует и иное – электрическое взаимодействие.

О частицах, которые участвуют в таком взаимодействии, говорят, что **частицы обладают электрическим зарядом**. Силы взаимодействия между электрическими заряженными частицами называют **электрическими силами**. От чего зависят силы электрического взаимодействия? Они *определяются расстоянием между заряженными частицами и электрическим зарядом частиц*. Чем ближе частицы друг к другу, тем больше силы электрического взаимодействия. Чем больше заряды частиц, тем больше силы электрического притяжения или отталкивания между ними<sup>1</sup>.

Теперь мы можем дать научное объяснение результатам опытов с металлическими гильзами (рис. 122, а–в). Когда прикоснулись резиновой трубкой к меху (а для лучшего контакта их даже потёрли друг о друга), то заряженные частицы переместились на резиновую трубку. Затем при контакте резиновой трубки и гильз эти заряженные частицы переместились на гильзы. И гильзы, получившие заряд при контакте с резиновой трубкой, взаимодействуют электрическими силами.

Проведя множество опытов, учёные установили, что существует два вида зарядов, их назвали **отрицательный и положительный заряды**<sup>2</sup>.

Установлено, что тела, имеющие заряды одного знака, отталкиваются, а тела, имеющие заряды разных знаков, притягиваются.

<sup>1</sup> Точно так же сила всемирного тяготения тем больше, чем ближе тела друг к другу и чем больше массы взаимодействующих тел.

<sup>2</sup> Если один заряд называют положительным, а другой отрицательным, то это, конечно, не означает, что один заряд «лучше» другого. Это исторически сложившиеся названия. В физике они установились не сразу, первоначально использовали названия «стеклянное» и «смоляное» электричество.

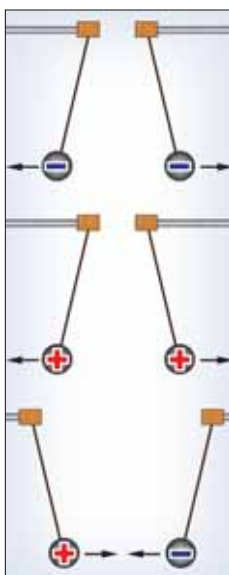


Рис. 123



Рис. 124

Различные случаи электрического взаимодействия изображены на рисунке 123, а–в.

Существование двух видов зарядов подтвердим опытом (рис. 124). Возьмём две пары полосок бумаги и полиэтилена. Для удобства проведения опыта одну полоску бумаги и одну полоску полиэтилена подвесим на нитях к штативу. Первоначально полоски не взаимодействуют. Это свидетельствует о том, что их заряды равны нулю. Потрём полоски бумаги и полиэтилена друг о друга. После этого наблюдается их электрическое взаимодействие.



27.1. С какой целью при проведении опыта полоски бумаги и полиэтилена потёрли друг о друга?

Причём бумажная и полиэтиленовая полоски притягиваются друг к другу, а вот «одинаковые» полоски (полиэтилен и полиэтилен, бумага и бумага) отталкиваются. Заряды, приобретённые бумажной и полиэтиленовой полосками, неодинаковы, различны по своим свойствам. Это как раз доказывает существование двух видов зарядов. Одновременно на опыте мы убедились, что если телам сообщены заряды разного знака, то возникают силы притяжения, в противном случае – силы электрического отталкивания.

**Электрон – частица с наименьшим электрическим зарядом.** Изучая строение и состав атомов, учёные установили, что в состав всех атомов входят частицы с отрицательным электрическим зарядом. Эти частицы назвали **электронами**. Именно перемещением электронов обусловлено приобретение

заряда гильзами, полосками полиэтилена и бумаги в опытах, описанных в параграфе (рис. 122, 124). Была измерена масса электрона. Электрон оказался удивительно лёгкой частицей. Общая масса миллиарда миллиардов миллиардов электронов будет всего 1 грамм! Масса электрона примерно в 33 000 раз меньше массы молекулы воды и почти в 2000 раз меньше массы самого лёгкого атома – атома водорода.

Измерение величины заряда электрона было осуществлено в начале XX в. американским учёным Милликенем. Для этого им были проведены опыты по очень точному измерению заряда маленьких капель масла. В результате было установлено, что заряд электрона является наименьшей «порцией» электрического заряда.

Заряд электрона – наименьший отрицательный заряд, существующий в природе.



Схема опыта Милликена изображена на рис. 125. В опыте масло распыляли заряженными каплями в воздухе в пространстве между двумя заряженными пластинами. На заряженную каплю, находившуюся между пластинами, действовала не только сила тяжести, но и электрическая сила. При некоторой величине заряда капли силы, действовавшие на неё, уравновешивали друг друга, и капля двигалась равномерно.



Рис. 125



27.2. Каков должен быть знак заряда верхней пластины, чтобы отрицательно заряженная капля могла бы двигаться вверх (рис. 125)?

При движении капля может «захватить» заряженные частицы, находящиеся в воздухе. Это приведёт к изменению заряда капли. Если заряд капли изменяется, то прежнее равновесие сил нарушается и капля начинает двигаться с иной скоростью. По изменению скорости движения капли можно было определить, на какую величину изменился её заряд.

В опытах заряд капли изменялся всегда только «скачком» – заряд изменялся на один, два, три заряда электрона. Ни при каких условиях заряд капли не изменялся меньше, чем на заряд электрона. Как писал Милликен: «Электричество атомистично по своему строению, ... все различные заряды... должны быть строго кратными элементарной единице заряда».

**Электрическое взаимодействие, электрический заряд, два вида заряда: положительный заряд и отрицательный заряд, электрон – частица с наименьшим отрицательным электрическим зарядом, измерение заряда электрона.**



27.1. Сверните из тетрадного листа бумагу трубочку и подвесьте её на нити (рис. 126). Вставьте вовнутрь трубочки пластмассовую ручку и несколько раз потрите ручкой о бумагу. Вытащите ручку и пронаблюдайте, как взаимодействуют бумажная трубочка и ручка. Объясните результат наблюдения.

27.2 ● Какие виды электрического заряда существуют в природе? Назовите их. Как взаимодействуют заряды одного вида? разных видов?

27.3 ● Каково, по вашему мнению, значение опытов Милликена, описанных в этом параграфе?



Рис. 126

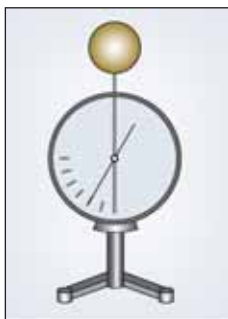
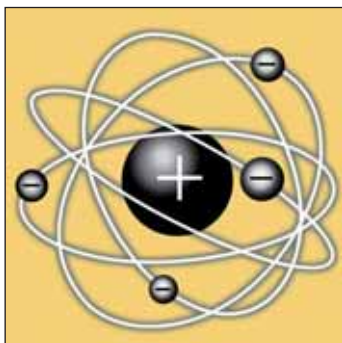


Рис. 127

**27.4** ● Для обнаружения электрических зарядов используют прибор электрометр (рис.127). В корпусе прибора находится металлический стержень, верхняя часть стержня снабжена металлическим шаром. К средней части стержня крепится лёгкая металлическая стрелка так, что она может вращаться. Почему, если заряженным телом коснуться шара, то стрелка электрометра отклонится? В каком случае она отклонится на больший угол?

**27.5** ● В каком направлении (вверх или вниз) будет двигаться капля масла, первоначально находившаяся в состоянии покоя, если она потеряет несколько электронов (рис.125)? Ответ обосновать.

## § 28. СТРОЕНИЕ АТОМА



Из идеи движения электронов, подобно движению планет, возникла атомная физика.

*М. Планк (1858–1947),  
выдающийся физик-теоретик XX в.*

Вам уже известно, что существуют электроны – частицы с наименьшим отрицательным электрическим зарядом.

**«Минус» и «плюс» в атоме.** Проведя множество опытов, исследуя различные вещества, учёные-физики убедились, что электроны входят в состав атомов любого вещества.



28.1. Между электронами существует электрическое взаимодействие. Какие это силы – силы притяжения или отталкивания?

Обычно между телами не наблюдается электрического взаимодействия, а значит, тела не имеют электрического заряда. Все тела, как вам известно, состоят из атомов или молекул – групп атомов. Если тела не имеют в обычных условиях заряда, то это означает, что **атомы являются электрически нейтральными – заряд всего атома равен нулю.** Следовательно, отрицательный заряд электронов компенсируется (уравновешивается) положительным зарядом каких-то других частиц, которые должны входить в состав атома.

Если атом состоит из электрически заряженных частиц, то как эти частицы располагаются в атоме? Каково взаимное расположение электронов (отрицательно заряженных частиц) и частиц, имеющих положительный заряд? Вы знаете, что размеры атома крайне малы. Но, несмотря на это, учёным удалось найти ответ на поставленный вопрос – каково строение атома.

**Опыт Резерфорда.** Решающий эксперимент в этом направлении был проведён в начале XX в. английским физиком Резерфордом. К тому времени было обнаружено, что из некоторых природных веществ (урана, тория) постоянно вылетают положительно заряженные частицы – их назвали *альфа-частицами* ( $\alpha$  – альфа – первая буква греческого алфавита).

Альфа-частицы в четыре раза тяжелее атома водорода и обладают огромной скоростью – 15 000 000 м/с (при такой скорости расстояние от Земли до Луны частица пролетела бы за 25 секунд). Кинетическая энергия альфа-частицы так велика (по атомным масштабам), что при ударе отдельной частицы об экран, покрытый специальным веществом, возникает вспышка. Эта вспышка, хотя и слабая, может наблюдаться в микроскоп.

Проводя опыты, Резерфорд на пути альфа-частиц поместил тонкую металлическую фольгу (рис. 128). Несмотря на то, что фольга была в 500 раз тоньше тетрадного листа, она всё-таки состояла из сотен атомных слоёв. Наблюдая за вспышками на экране (следы ударов альфа-частиц), Резерфорд выяснил, что почти все частицы легко пронзают фольгу. Значит, большинство альфа-частиц не встречает препятствий на своём пути и, следовательно, в атомах очень много пустот, не заполненных частицами вещества.



28.2. Каким – отрицательным или положительным – электрическим зарядом обладает альфа-частица?

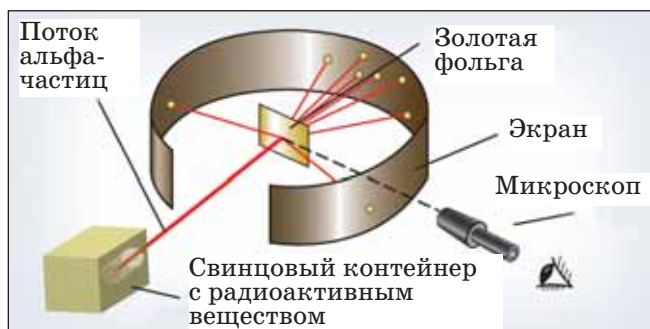


Рис. 128

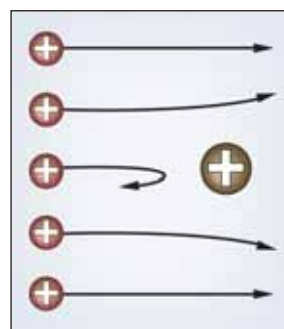


Рис. 129





**Эрнест Резерфорд (1871–1937).** Великий английский физик. Один из исследователей явления радиоактивности и основателей ядерной физики. Изучил рассеяние  $\alpha$ -частиц атомами различных элементов и предложил планетарную (ядерную) модель атома.

**Ядро атома.** В опытах Резерфорда с альфа-частицами был получен ещё один очень важный и неожиданный результат. Некоторые альфа-частицы (примерно одна из восьми тысяч) отлетают от фольги обратно. Несмотря на огромную скорость и значительную кинетическую энергию, частицы не могут пробить фольгу. Что же «отражает» эти альфа-частицы? Почему некоторые «атомные снаряды» не пробивают мишень? Выходит, в атомах есть положительно заряженные частицы, занимающие крайне малую часть атома. И когда альфа-частица натывается на эту область положительного заряда, то электрические силы отбрасывают такую частицу. Резерфорд назвал положительно заряженную часть атома **ядром** (рис. 129).

В результате опытов по «просвечиванию» вещества альфа-частицами Резерфорд сделал следующий вывод.

В центре атома находится положительно заряженное ядро, а на значительном расстоянии от ядра (по сравнению с размерами самого ядра) движутся электроны.



Рис. 130

На рисунке 130 изображена условная схема строения простейшего из атомов – атома водорода. В атоме водорода вокруг ядра движется один электрон.



28.3. Почему предложенную Резерфордом схему строения атома назвали планетарной?

В более сложных атомах вокруг ядра движется несколько электронов (до сотни). И положительный заряд ядра численно равен общему заряду всех электронов атома – ведь атом в целом электрически нейтрален.

В ядре сосредоточена почти вся (99,98%) масса атома. При этом ядро занимает крайне малую часть атома – оно в 10 000–100 000 раз меньше размера всего атома. Если, например, атом водорода увеличить так, что его ядро достигнет размеров футбольного мяча, то при таком увеличении электрон окажется на расстоянии 23 километров от ядра.



### Альфа-частица, ядро атома, планетарная модель атома.

- 28.1** ● Как научно обосновать утверждение о наличии положительного заряда в атоме?
- 28.2** ● Почему в опытах по изучению строения атома Резерфордом использовались именно альфа-частицы?
- 28.3** ● Каков главный результат опытов Резерфорда, описанных в параграфе?
- 28.4** ● Резерфорд первоначально был крайне удивлён тем, что в опытах некоторые из альфа-частиц не проходят через фольгу, а отражаются обратно. Он писал, что отражение альфа-частиц так же невероятно, как если бы при выстреле снаряда в кусок тонкой бумаги снаряд отлетел бы обратно. Как был объяснён факт отражения некоторых альфа-частиц от тончайшей металлической фольги?
- 28.5** ● Атом кислорода содержит 8 электронов. Чему равен заряд ядра атома (в сравнении с зарядом электрона)?

### § 29. ЯДРО АТОМА



Мы можем теперь задать вопрос, выигрывает ли человечество от знаний секретов природы ... не принесёт ли ему вред это знание... Я склонен придерживаться точки зрения, что человечество извлечёт из новых открытий больше хорошего, чем плохого.

*Из речи в 1903 г. П. Кюри, выдающегося французского физика, лауреата Нобелевской премии*

Вам уже известно, каково строение атома.

В начале XX в. благодаря опытам английского физика Резерфорда было установлено существование атомного ядра. После этого дальнейшие усилия Резерфорда и многих других учёных были направлены на изучение строения ядра атома.

**Состав ядра атома.** Атомные ядра различных веществ – азота, натрия, алюминия – бомбардировали альфа-частицами и другими частицами, имеющими ещё большую кинетическую энергию, чем альфа-частицы. При этом из атомного ядра удалось выбить частицы примерно одинаковой массы. Одна из них имеет положительный заряд, её называли **протон**. Другая частица не имеет электрического заряда, нейтральна, её называли **нейтрон**. Таким образом удалось установить состав атомного ядра.

Ядро атома состоит из частиц двух видов – протонов и нейтронов.



- 29.1. Будет ли частица нейтрон участвовать в электрическом взаимодействии?  
29.2. Участвуют ли протоны в электрическом взаимодействии?

Между электрически нейтральной частицей – нейтроном – и заряженной частицей – протоном – не существует сил электрического взаимодействия. Между положительно заряженными частицами – протонами – действуют силы электрического отталкивания. Что же удерживает вместе частицы атомного ядра, объединяя их? Учёные выяснили, что протоны и нейтроны взаимодействуют внутри атомного ядра особыми ядерными силами. Эти силы столь велики, что «цементируют» в ядре даже протоны, имеющие одинаковый знак электрического заряда и отталкивающиеся друг от друга. Но действуют эти гигантские силы только на очень малых расстояниях, внутри ядра. (Отсюда и название – ядерные силы.)

Трудами учёных многих стран в первой половине XX века было доподлинно установлено строение атома.

В центре атома находится атомное ядро, состоящее из протонов и нейтронов, а вокруг ядра движутся электроны.

На рисунке 131 изображены схемы строения атомов гелия, лития и углерода<sup>1</sup>.

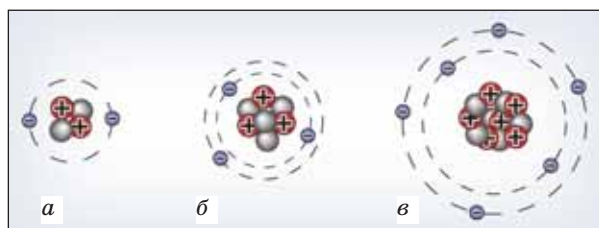


Рис. 131

- a* – атом гелия: протонов – 2, нейтронов – 2, электронов – 2;  
*б* – атом лития: протонов – 3, нейтронов – 4, электронов – 3;  
*в* – атом углерода: протонов – 6, нейтронов – 6, электронов – 6

<sup>1</sup> Гелий – лёгкий газ; литий – металл; углерод – химический элемент, который входит в состав угля, нефти, природного газа.



**Деление урана.** Представьте, что между двумя кубиками вы поместили пружину, сжали её и связали кубики прочной нитью так, чтобы пружина не могла распрямиться (рис. 132, а). При этом пружина обладает потенциальной энергией. Что произойдёт, если перерезать нить, удерживающую пружину? Пружина распрямится, кубики разлетятся – потенциальная энергия пружины превратится в кинетическую энергию кубиков (рис. 132, б).

Обратите внимание, что имеется некоторая аналогия между связанными кубиками и частицами в атомном ядре. Действительно, силы электрического отталкивания между протонами – это та «пружина», которая стремится разорвать ядро. Ядерные силы между протонами и нейтронами – это та прочная «нить», что удерживает частицы в ядре.

Можно ли разрушить ядро? Положительно заряженными частицами сделать это будет нелегко, так как ядро атома само имеет положительный заряд и будет отталкивать налетающие на него положительные частицы. Отрицательно заряженные частицы – электроны – имеют крайне малую массу (они почти в две тысячи раз легче протонов и нейтронов). Значит, даже при очень большой скорости электроны не будут обладать кинетической энергией, необходимой для разрушения ядра.

Нейтральные частицы – нейтроны – при их попадании в атомное ядро не испытывают действия сил электрического отталкивания. Поэтому нейтроны могут проникать в глубь ядра и разрушать атомные ядра – вызывать их деление. Так, например, при попадании нейтрона в ядро урана оно «раскалывается» на две части.

При делении урана оба ядра-осколка имеют положительный заряд, они отталкиваются друг от друга и, разлетаясь, приобретают большую кинетическую энергию. За счёт этой энергии на атомных электростанциях в специальных установках – ядерных реакторах – и вырабатывается электроэнергия (рис. 133).

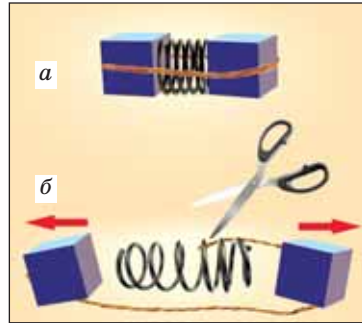


Рис. 132

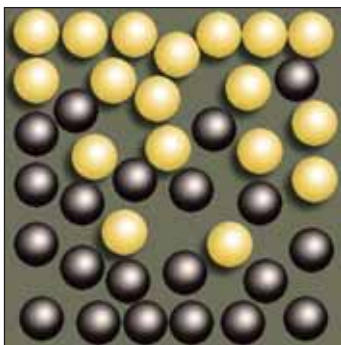


Рис. 133. Курская атомная электростанция

**Протон, нейтрон, строение ядра атома, строение атома, деление урана, ядерный реактор, атомная электростанция.**

- 29.1** ● Какие частицы входят в состав атомного ядра? Охарактеризуйте их способность участвовать в электрическом взаимодействии.
- 29.2** ● Масса ядра атома алюминия соответствует массе 27 ядерных частиц (протонов и нейтронов). Установлено, что ядро атома алюминия содержит 13 протонов. Сколько нейтронов содержит атом алюминия?
- 29.3** ● Атом кислорода имеет 8 электронов. Масса ядра атома составляет около 16 масс ядерных частиц (протонов и нейтронов). Сколько протонов и сколько нейтронов содержит ядро атома углерода?
- 29.4** ● При делении ядер урана происходит большое выделение энергии. Не нарушается ли в этом явлении закон сохранения энергии?
- 29.5** ● Почему именно нейтроны способны вызывать деление ядер урана?

### § 30. ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ. ДИФФУЗИЯ. ТЕМПЕРАТУРА



Овощной лавке вывеска не нужна.

*Японская пословица*

Вам уже известно об атомно-молекулярном строении вещества.

Несколько предыдущих параграфов (§ 26–29) были посвящены рассмотрению очень важных вопросов. Мы установили,

что в природе помимо сил всемирного тяготения существуют электрические силы (и притяжения, и отталкивания). Мы выяснили строение атома и даже «заглянули» в глубины атома – атомное ядро.

Нам известно, что в состав ядра входят положительно заряженные частицы, а электроны имеют отрицательный заряд. Заряженные частицы, составляющие атом, взаимодействуют электрическими силами. Благодаря электрическим силам электроны удерживаются ядром в составе атома. Также ядро одного атома может притянуть электроны другого атома. Что происходит, если несколько атомов располагаются близко друг к другу? В этом случае ядро одного атома действует силой притяжения на электроны «соседнего» атома. В свою очередь, ядро атома-«соседа» действует силой притяжения на электроны первого атома. В результате отдельные атомы могут объединяться в молекулы.

**Частицы вещества движутся.** Следующий очень важный вопрос – как ведут себя молекулы различных веществ? Двигутся ли они или покоятся? Оказывается, **во всех веществах молекулы совершают непрерывное беспорядочное движение.** Это кажется удивительным! Движение атомов и молекул наблюдается у **всех веществ**, и это движение **никогда не прекращается.** При движении огромного числа молекул они беспрестанно сталкиваются друг с другом, меняя направление скорости. В итоге движение частиц не имеет какого-либо определённого направления, молекулы движутся беспорядочно.

Факт движения молекул подтверждается множеством различных физических явлений. Если, например, открыть флакон с духами или одеколоном, то через некоторое время запах будет ощущаться по всей комнате. Запах будет ощущаться даже в том случае, если окна и двери в комнате плотно закрыты и нет сквозняка, продувающего помещение. Это объясняется тем, что молекулы духов и молекулы газов, составляющих воздух, беспорядочно движутся и благодаря этому движению происходит перемешивание веществ – духов и воздуха.



30.1. Учёными установлено, что молекулы газа движутся со скоростями, которые составляют сотни метров в секунду. Казалось бы, при такой скорости движения молекул запахи должны распространяться практически мгновенно. Но этого не происходит. Почему?

Молекулы движутся и в жидкостях. Возьмите стакан с чистой водой и осторожно добавьте в воду молоко или крепко заваренный чай. Вы увидите, что постепенно жидкости перемешиваются, и через некоторое время в стакане образуется *однородная* (то есть одинаковая во всех частях стакана) жидкость. Перемешивание жидкостей доказывает, что молекулы жидкостей, так же как и молекулы газов, движутся непрерывно и беспорядочно.

Рассмотренные примеры подтверждают непрерывное беспорядочное движение молекул в газах и жидкостях. Но неужели частицы движутся и в твёрдых телах? В конце XIX в. учёными был проведён следующий опыт. Пластину золота крепко прижали к пластине свинца и поместили металлы в печь на 10 дней при температуре 200 °С. Когда опыт закончился, оказалось, что металлы разъединить уже невозможно. После того, как пластины разрезали и посмотрели на место их соединения под микроскопом, убедились, что металлы – золото и свинец – проникли друг в друга. Проникли не очень глубоко – на доли миллиметра, но проникли – произошло взаимное перемешивание атомов обоих металлов. Это доказывает, что и в твёрдых телах частицы, их составляющие, совершают непрерывное беспорядочное движение.

**Диффузия в природе и технике.** Диффузия в переводе с латинского означает «распространение», «растекание».

Явление взаимного перемешивания беспорядочно движущихся частиц соприкасающихся веществ называется диффузией.



30.2. Как учёные объясняют тот факт, что диффузия наблюдается и в газах, и в жидкостях, и в твёрдых телах?

Явление диффузии – важное физическое явление, часто встречающееся в природе (ведь частицы любых веществ постоянно совершают беспорядочное движение). Используется явление и в быту, и в технике. Такое чувство человека и других живых существ, как обоняние, возможно только благодаря диффузии. Благодаря явлению диффузии происходит насыщение воды кислородом из воздуха, который необходим рыбам для дыхания. На явлении диффузии основана засолка огурцов и использование приправ в кулинарии. Природные горючие газы не имеют запаха, и к ним специально добавляют резко пахнущие вещества. С какой целью? Чтобы можно было почувствовать «запах газа», если забыли закрыть кран газовой плиты или повреждена труба газопровода. Явление диффузии происходит при пайке и сварке металлов, при получении сплавов. Так, например, в расплавленное железо вводят вещество углерод. В результате получают прочную сталь – сплав железа с углеродом, где на каждую тысячу атомов железа приходится по два атома углерода.



**Броуновское движение.** Ещё одним доказательством беспорядочного непрерывного движения частиц вещества служит явление, которое физики называют броуновским движением. Очень образно это явление в своей знаменитой поэме «О природе вещей» описывает древнеримский философ и поэт Лукреций Кар:

«Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает  
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами  
Множество маленьких тел в пустоте, ты увидишь, мелькая,  
Мечутся взад и вперёд в лучистом сиянии света;  
...Кроме того, потому обратить тебе надо вниманье  
На суматоху в телах, мелькающих в солнечном свете,  
Что из неё познаёшь ты материи также движенья,  
Происходящие в ней потаённо и скрыто от взора.  
Ибо увидишь ты там, как много пылинок меняют  
Путь свой от скрытых толчков и опять отлетают обратно,  
Всюду туда и сюда разбегаясь во всех направленьях».



Действительно, частицы воздуха беспорядочно непрерывно движутся, но они так малы, что мы их, конечно же, видеть не можем. Но зато мы наблюдаем, как пылинки, находящиеся в воздухе, «меняют путь свой от скрытых толчков» со стороны частиц воздуха.

Это явление назвали броуновским движением в честь английского ботаника Броуна. В 1827 г. он наблюдал в микроскоп цветочную пыльцу, находящуюся в воде, и обнаружил, что частицы пыльцы непрерывно движутся по самым причудливым траекториям. Было установлено, что движение никогда не прекращается и является беспорядочным (рис. 134).



Рис. 134



30.3. Как объяснить явление броуновского движения?

Изучение этого явления имело очень важное значение для физики. Учёными была создана теория броуновского движения, она получила экспериментальное подтверждение. Это дало возможность определить массу атомов и молекул веществ.



30.4. Как, зная массу всего вещества и массу одной частицы вещества, рассчитать число частиц вещества?

Таким образом, явление броуновского движения является непосредственным доказательством того, что тела действительно состоят из отдельных частиц, которые находятся в беспорядочном непрерывном движении.

**Температура. Тепловые явления.** Проведите опыт. Возьмите два одинаковых стакана и наполните их – один горячей, а другой холодной водой. В каждый из стаканов опустите по крупинке марганцовки. (Химики называют это вещество калия перманганат.) Что показал опыт? В горячей воде диффузия марганцовки происходит быстрее. Точно так же быстрее в горячей воде происходит растворение соли или сахара. Как объяснить результаты опыта? Если перемешивание веществ, т. е. процесс диффузии, может происходить с различной быстротой, значит, и частицы, например молекулы воды, могут двигаться с разной скоростью.

Атомы и молекулы могут иметь различную скорость беспорядочного непрерывного движения, различную кинетическую энергию.

Учёные-физики характеризуют энергию движения атомов и молекул тела **температурой**. Поэтому движение частиц вещества называют **тепловым движением**.



Так, например, при нагревании воды её можно довести до кипения, когда большое количество воды испаряется. Как объяснить превращение воды в пар? При нагревании увеличивается энергия теплового движения молекул воды до такой степени, что отдельные группы молекул преодолевают притяжение жидкости. В итоге «самые энергичные» молекулы образуют водяной пар. При нагревании увеличивается энергия частиц вещества, при этом увеличивается и температура вещества.

Чем больше энергия движения частиц тела, тем выше его температура.

Явления, происходящие при изменении характера теплового движения атомов и молекул вещества, называют **тепловыми явлениями**. Примерами таких тепловых явлений могут быть нагревание и охлаждение воздуха, кипение воды, плавление металлов и так далее. Температура как раз и является той физической величиной, которая характеризует тепловые явления. Она служит мерой теплового движения частиц тела – чем быстрее движутся частицы тела, тем выше температура тела.



30.5. В каких единицах измеряют энергию?



Так как температура тела определяется энергией движения частиц тела, то её, конечно же, можно было бы измерять единицами энергии – джоулями. Но первые приборы для измерения температуры –



Рис. 135. Флорентийский термометр

**термометры** – появились в Италии в середине XVII века (рис. 135). Тогда учёным ещё не была известна главная причина тепловых явлений – изменение теплового движения атомов и молекул вещества. В то время и вошла в физику единица измерения температуры – градус (ступень – по латыни). Эта единица измерения температуры сохранилась до нашего времени. Температуру измеряют в градусах Цельсия (сокращённо обозначается °C). В некоторых странах применяют и другие температурные шкалы. Например, в США до сих пор употребляется шкала Фаренгейта (градус шкалы Фаренгейта сокращённо обозначается °F). По этой шкале  $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 32\text{ }^{\circ}\text{F}$ ,  $100\text{ }^{\circ}\text{C} = 212\text{ }^{\circ}\text{F}$ , а нормальная температура человеческого тела составляет  $98\text{ }^{\circ}\text{F}$ .

**Непрерывное беспорядочное движение частиц вещества – тепловое движение, тепловые явления, диффузия, броуновское движение, температура, термометр, температурные шкалы.**

- 30.1** ● Подготовьте ответ о диффузии по плану ответа о физическом явлении.
- 30.2** ● Какое физическое явление используется при засолке огурцов? Почему для быстрой засолки огурцов их заливают горячим рассолом?
- 30.3** ● Одинаковые кусочки сахара бросьте одновременно в стакан с холодной и в стакан с горячей водой. Где сахар растворился быстрее? Почему? За какое время произошло растворение? На сколько секунд отличается время растворения сахара в горячей и в холодной воде? Во сколько раз отличается время растворения в горячей и в холодной воде?
-  **30.4.** Энергично потрите одну ладонь о другую. Изменилась ли при этом, по вашему мнению, кинетическая энергия и скорость движения частиц тела? Ответ обосновать.
-  **30.5.** Алюминиевую чайную ложку опустите в стакан с горячей водой. Изменилась ли при этом кинетическая энергия и скорость движения частиц алюминия? Ответ обосновать.

### § 31. ТРИ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА. ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В ГАЗАХ, ЖИДКОСТЯХ И ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ



Форма жидкости зависит от сосуда, характер человека – от его друзей.

*Японская пословица*

Вы уже знаете, что вещество состоит из частиц (атомов, молекул), которые находятся в тепловом движении.

**Три состояния вещества.** Вещества могут находиться в различных состояниях – твёрдом, жидком и газообразном. Возьмём кусок льда, поместим его в пробирку и нагреем (рис. 136, а–в). Твёрдый лёд расплавится и станет жидкостью. Продолжим нагревание, и вода начнёт кипеть, образуется водяной пар. Следовательно, вода может находиться в любом из трёх состояний: в виде твёрдого тела, жидкости или газа. Также и другие вещества. Если газ кислород охладить при атмосферном давлении до температуры  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то кислород из газообразного состояния переходит в жидкое, а при дальнейшем охлаждении до  $-218\text{ }^{\circ}\text{C}$  – в твёрдое. При нагревании железа до  $1530\text{ }^{\circ}\text{C}$  оно становится жидким, а если продолжить нагревание до  $3050\text{ }^{\circ}\text{C}$ , железо переходит в газообразное состояние. Эти примеры показывают, что вещества могут находиться и в твёрдом, и в жидком, и в газообразном состояниях.

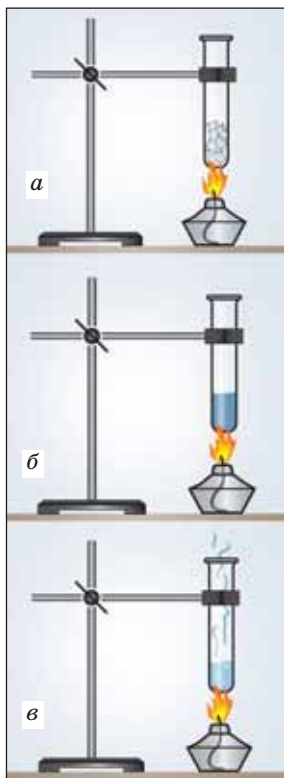


Рис. 136



Рис. 137

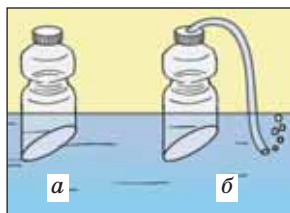


Рис. 138



31.1. Различаются ли молекулы вещества, например воды, в твёрдом, жидком, газообразном состояниях?

Атомы и молекулы вещества в твёрдом, жидком, газообразном состояниях одинаковы. Так, молекула воды и в твёрдом состоянии (лёд), и в жидком состоянии (вода), и в газообразном состоянии (водяной пар) одна и та же. И состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Но отличаются ли чем-нибудь атомы и молекулы вещества, находящегося в различных состояниях? **В твёрдом, жидком и газообразном состояниях частицы вещества движутся различным образом, имеют разные скорости, разные кинетические энергии.** В различных состояниях вещества **частицы находятся на разных расстояниях друг от друга; по-разному взаимодействуют друг с другом, обладают различными потенциальными энергиями.**

**Свойства газов.** В газообразном состоянии вещество не имеет ни определённой формы, ни объёма. Опустим пластиковую бутылку в воду (рис. 137) и слегка сожмём. Видно, как из бутылки в воду выходят пузырьки воздуха. Значит, бутылка не пустая, а наполнена газом – воздухом. Теперь опустим в воду пластиковую бутылку, закрытую пробкой, но со срезанным дном (рис. 138, а). Вода не заходит в бутылку свободно – этому препятствует воздух, занимающий некоторый объём. Если в пробке сделать отверстие (рис. 138, б), то вода вытеснит воздух из бутылки. Этот опыт показывает, что газ не имеет ни определённой формы, ни определённого объёма, а заполняет целиком всю предоставленную ему ёмкость.

Эти свойства газа объясняются особенностями их внутреннего строения. В газах молекулы в среднем находятся друг от друга на расстояниях в десятки и сотни раз больше размеров самих молекул, и поэтому они не взаимодействуют друг с другом.



31.2. Какое известное вам физическое явление подтверждает факт беспорядочного теплового движения молекул газа?

**Беспорядочное движение невзаимодействующих молекул газа** (рис. 139) приводит к тому, что молекулы разлетаются и газ заполняет весь предоставленный ему объём.



31.3. Как связана температура газа с кинетической энергией молекул газа и скоростью их движения?

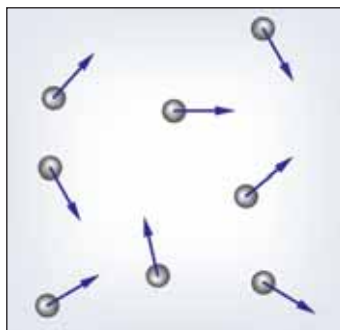


Рис. 139

**Свойства жидкостей.** Жидкости в отличие от газов имеют постоянный объём. В этом нас убеждает следующий опыт. Возьмём трубку с поршнем (рис. 140, а), закроем трубку пробкой и попробуем сжать воздух, находящийся в трубке (рис. 140, б). Нам удастся достаточно легко сжать воздух. Но если наполнить трубку жидкостью и попробовать сжать жидкость, то сколько-нибудь заметным образом сжать жидкость и уменьшить её объём не удастся (рис. 140, в).

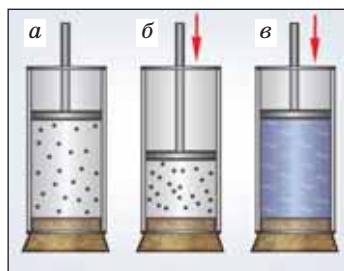


Рис. 140

Что касается формы жидкости, то изменить её не представляет никакого труда. Жидкость всегда принимает форму того сосуда, в который она налита (рис. 141).



31.4. Двигутся ли молекулы в жидкостях? Какое известное вам физическое явление это подтверждает?

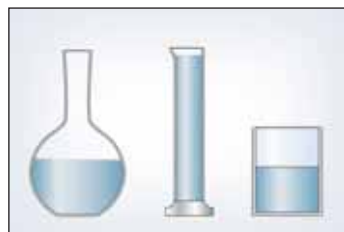


Рис. 141

Учёные установили, что в жидкостях молекулы располагаются близко друг к другу – расстояние между молекулами жидкости примерно равно размеру самих молекул. На таких расстояниях молекулы притягиваются друг к другу и они не разлетаются – жидкость не распадается на отдельные молекулы. При попытке сжатия жидкости, когда стремятся уменьшить её объём и уменьшить расстояние между молекулами, возникают большие силы электрического отталкивания между электронами соседних молекул жидкости. И жидкость сжать не удаётся, она сохраняет практически постоянный объём.

В плотной «толпе» у молекул жидкости нет возможности, как у молекул газа, двигаться беспрепятственно. **Молекулы жидкости движутся**, образно говоря, совершая «бег на месте», и время от времени **перепрыгивают на свободные места**. Благодаря таким беспрестанным «перескокам» молекул жидкость принимает форму любого сосуда. При повышении температуры перескоки молекул происходят чаще, и жидкость становится более текучей. Например, густой мёд легче перелить, если нагреть.



Рис. 142

размера самих частиц. Если это расстояние увеличить до размера частиц, то силы притяжения между частицами твёрдого тела значительно ослабеют и твёрдое тело может быть разрушено. И восстановить твёрдое тело в единое целое, как правило, не удаётся – не сблизить частицы твёрдого тела до прежнего малого расстояния. Вот почему осколки разбитой чашки, части сломанного карандаша или кусочки разломанного мела не будут удерживаться вместе.



31.5. С какой целью торцевые поверхности цилиндров в опыте (рис. 142) тщательно выравнивают?

**Свойства твёрдых тел.** В твёрдом состоянии вещество сохраняет и свой объём, и свою форму. Чтобы изменить форму твёрдого тела, например железного стержня или деревянного бруска, нужно приложить значительное усилие. Сохранение формы и объёма свидетельствует, конечно, о взаимодействии частиц твёрдого тела, о притяжении частиц друг к другу.

Интересным примером сил взаимного притяжения между частицами твёрдого тела является опыт со свинцовыми цилиндрами (рис. 142, а). Перед опытом торцевые поверхности свинцовых цилиндров тщательно выравнивают. Подготовленные цилиндры сильно прижимают друг к другу торцевыми поверхностями – и цилиндры сцепляются. Сцепленные цилиндры можно подвесить к горизонтальному стержню штатива (рис. 142, б) и нагрузить гирей. Гирия удерживается благодаря силам притяжения между частицами свинца.

Силы притяжения между частицами твёрдого тела заметны лишь тогда, когда частицы находятся близко друг к другу. Обычно расстояние между частицами в твёрдых телах меньше

При сжатии твёрдого тела, при сближении его частиц возникают, как и в жидкости, силы отталкивания. Именно эти силы взаимодействия между частицами твёрдого тела и проявляют себя как сила упругости, возникающая при деформации тела.

Как вам известно, в твёрдых телах тоже наблюдается явление диффузии – значит, частицы твёрдого тела движутся. Как же происходит тепловое движение частиц твёрдого тела? **Частицы твёрдого тела совершают колебательное движение** (подобно движению груза на пружине). Каждая из частиц колеблется вблизи своего положения равновесия<sup>1</sup>.

При увеличении температуры растёт энергия колебаний частиц, увеличивается размах этих колебаний, что в итоге приводит к тепловому расширению твёрдого тела.



Рис. 143. Каменная соль. Алмаз. Снежинка

**Кристаллы – основа современной электроники.** Особый интерес для практики представляют те твёрдые тела, в которых частицы расположены в определённом порядке. Такие твёрдые тела с повторяющимся расположением частиц называют **кристаллами**. Кристаллическими твёрдыми телами являются, например, лёд, поваренная соль, различные металлы. Порядок в расположении частиц в кристалле приводит к геометрически правильным формам кристалла (рис. 143). Но главное достоинство кристаллов заключается не в их красоте. Строгий порядок в расположении частиц обуславливает разнообразные и удивительно полезные физические свойства кристаллов. Именно на основе кристаллов создают различные технические элементы, благодаря использованию которых и работают современные компьютеры, сотовые телефоны, видеокамеры.

<sup>1</sup> Положение равновесия – это такое положение частицы твёрдого тела, в котором силы притяжения частиц друг к другу уравновешиваются силами отталкивания друг от друга.



**Три состояния вещества: газ, жидкость, твёрдое тело; беспорядочное движение невзаимодействующих молекул газа, «перескоки» молекул жидкости, колебательное движение частиц твёрдого тела, кристаллы.**

**31.1** ● Сравните<sup>1</sup> свойства жидкостей и газов. Сравнение проведите на основе представлений о молекулярном строении тел.

**31.2** ● В чём состоит сходство и различие свойств твёрдых тел и жидкостей? Объяснение дайте на основе представлений о молекулярном строении тел.

**31.3** ● Лёд расплавили и получили воду, вода испарилась и превратилась в пар. Изменились ли при этом сами молекулы воды? Как изменилось их расположение, характер движения, скорость и кинетическая энергия молекул?

**31.4** ● Кусок олова нагрели, и олово перешло в жидкое состояние. Как при этом менялся характер движения частиц олова и их расположение друг относительно друга?



**31.5.** Рассмотрите крупинки поваренной соли (желательно использовать линзу). Сделайте рисунок. Как объяснить существование плоских правильных граней?

## § 32. ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА



Мал золотник<sup>2</sup>, да дорог.

*Русская пословица*

Вы уже знаете, что строение вещества в газообразном, жидком и твёрдом состояниях различно.

**Что характеризует плотность.** Для того чтобы охарактеризовать явления или свойства тел, используют различные физические величины. Так, быстроту движения тела характеризуют скоростью, его взаимодействие с другими телами – силой, энергию теплового движения частиц тела – температурой. Но какую величину использовать, чтобы охарактеризовать вещество, из которого состоит тело?

<sup>1</sup> Сравнение – сопоставление объектов для выявления сходства или различия между ними.

<sup>2</sup> Золотник – мера массы, равная 4,266 г.



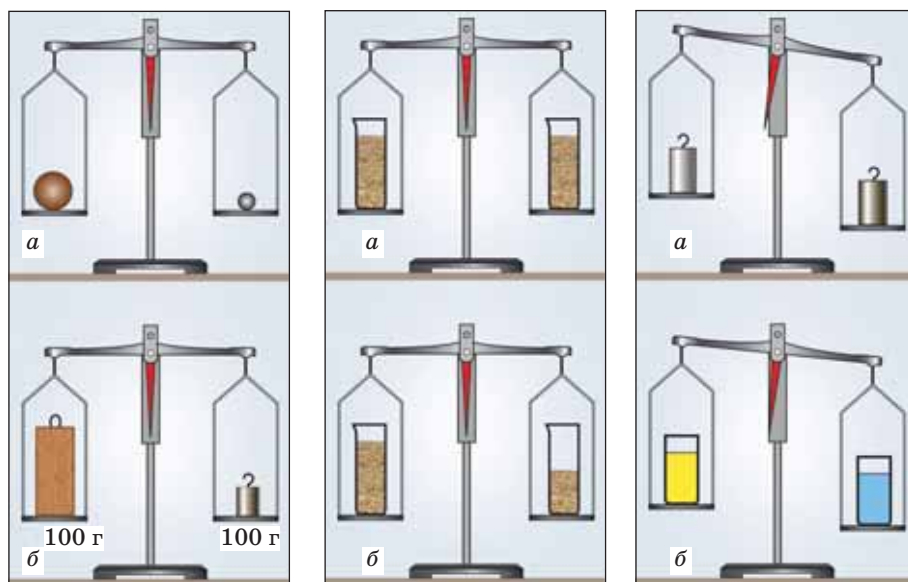


Рис. 144

Рис. 145

Рис. 146

Например, попробуем для сравнения веществ, из которых состоят тела, использовать величину «масса». Но, сравнивая тела одинаковой массы, мы заметим, что они могут иметь различный объём. Так, различны объёмы пластмассового и железного шариков равной массы (рис. 144, а); различны объёмы стограммовых грузов (рис. 144, б). Насыпем в одинаковые стаканы равные объёмы опилок и взвесим их (рис. 145, а). Мы увидим, что массы опилок равны. В одной из мензурок уплотним опилки (рис. 145, б). Хотя массы опилок равны, но теперь их объёмы различны. Выходит, даже тела из одного и того же вещества с равными массами могут иметь различные объёмы.

Если же для сравнения веществ, из которых состоят тела, выбрать тела одинакового объёма, то будут различны их массы. Так, не равны массы железного и алюминиевого цилиндров (рис. 146, а); различны массы стакана масла и стакана воды (рис. 146, б).

В рассмотренных нами примерах нет ничего неожиданного. Действительно, ведь тела состоят из разных веществ. А разные вещества состоят из различных атомов и молекул, которые отличаются по массе. Да и расположены частицы в разных веществах по-разному. В одних веществах – более близко друг к другу, а в других – частицы дальше друг от друга.



32.1. Одинакова ли масса единицы объёма различных веществ?

Если взять для сравнения по  $1 \text{ см}^3$  разных веществ – дерева, железа, масла, воды, то их массы будут различны. Массы различны именно потому, что это разные вещества, различно их внутреннее строение и состав частиц (атомов и молекул).

Следовательно, для разных веществ масса единицы объёма вещества будет различна. И именно эту величину можно выбрать в качестве характеристики вещества, её называют плотностью вещества. **Плотность вещества – физическая величина, характеризующая вещество. Плотность определяется внутренним строением и массой частиц (атомов и молекул) вещества.**

**Определение плотности и формула для расчёта.** Приведём определение плотности.

Плотность вещества – физическая величина, численно равная массе единицы объёма вещества.

Так, например, подсолнечное масло объёмом  $100 \text{ см}^3$  имеет массу 93 г. Значит, масса  $1 \text{ см}^3$  масла равна 0,93 г. Поэтому плотность масла  $0,93 \text{ г/см}^3$  (читается: 0,93 грамма на кубический сантиметр). Алюминиевый кубик объёмом  $1000 \text{ см}^3$  ( $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ ) имеет массу 2700 г. Значит, плотность алюминия  $2,7 \text{ г/см}^3$  (читается: 2,7 грамма на кубический сантиметр).



32.2. Как в рассмотренном примере с алюминиевым кубиком определена плотность алюминия?

Допустим, нам известна масса некоторого вещества и его объём. Как вычислить плотность вещества? Сделать это несложно – для определения плотности вещества нужно рассчитать массу одного кубического метра или одного кубического сантиметра вещества. Обозначим плотность вещества буквой  $\rho^1$ , массу тела – буквой  $m$ , объём тела – буквой  $V$ .

Тогда формулу для расчёта плотности запишем в виде

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

**Единицы измерения.** Так как плотность вещества численно равна массе  $1 \text{ см}^3$  или  $1 \text{ м}^3$  вещества, то единицы измерения плотности – это  $1 \text{ г/см}^3$  и  $1 \text{ кг/м}^3$ .

В таблице 4 приведены значения плотности некоторых газообразных, жидких и твёрдых веществ.

---

<sup>1</sup>  $\rho$  – буква греческого алфавита, читается: ро.

**Таблица 4. Плотность некоторых веществ**

*Плотность некоторых веществ в газообразном состоянии  
(при нормальном атмосферном давлении и температуре 0 °С)*

Вещество	Плотность вещества	
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Азот	1,25	0,001 25
Водород	0,09	0,000 09
Воздух	1,29	0,001 29
Гелий	0,18	0,000 18
Кислород	1,43	0,001 43
Природный газ	0,80	0,000 80
Углекислый газ	1,98	0,001 98

*Плотность некоторых веществ в жидком состоянии  
(при температуре 20 °С)*

Вещество	Плотность вещества	
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Бензин	710	0,71
Вода морская	1030	1,03
Вода чистая	1000	1,0
Керосин	800	0,8
Масло машинное	900	0,9
Масло подсолнечное	930	0,93
Мёд	1350	1,35
Молоко	1030	1,03
Ртуть	13 600	13,6
Серная кислота	1800	1,8
Спирт	800	0,8

*Плотность некоторых веществ в твёрдом состоянии  
(при температуре 20 °С)*

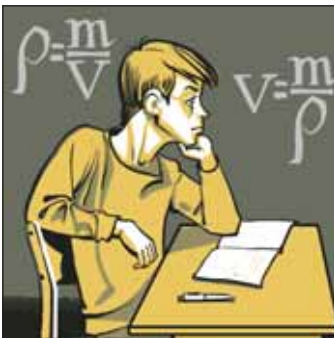
Вещество	Плотность вещества	
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Алюминий	2700	2,7
Бетон	2300	2,3
Древесина – берёза	640	0,64
– дуб	700	0,70
– пробка	130	0,13
– сосна	510	0,51
Золото	19 300	19,3
Кирпич	1800	1,8
Лёд	900	0,90
Латунь (сплав меди и цинка)	8400–8700	8,4–8,7
Медь	8900	8,9
Мрамор	2700	2,7
Олово	7300	7,3
Парафин	900	0,90
Сахар-рафинад	1600	1,6
Свинец	11 300	11,3
Серебро	10 500	10,5
Сталь, железо	7800	7,8
Стекло оконное	2500	2,5
Фарфор	2300	2,3
Цинк	7100	7,1
Чугун	7000	7,0

Плотность – это физическая величина, очень важная с практической точки зрения. Так, зная плотность древесины и её объём, можно рассчитать общую массу деревянных досок или брёвен. И тем самым определить, машина какой грузоподъёмности потребуется для их перевозки. Зная, например, плотность и массу бензина, можно вычислить его объём. И тогда уже легко определить, какой вместимости цистерна потребуется для хранения топлива.

**Плотность вещества,  $\rho = \frac{m}{V}$ , единицы измерения плотности – кг/м<sup>3</sup> и г/см<sup>3</sup>.**

- 32.1** ● Подготовьте ответ о плотности вещества по плану ответа о физической величине.
- 32.2** ● Из двух разных металлов изготовлены одинаковые по размерам кубики. Взвешивание показало, что масса одного кубика больше массы другого в 3,3 раза. Одинакова ли плотность металла? Если нет, то во сколько раз отличаются плотности?
- 32.3** ● Три детали – медная, железная и алюминиевая – имеют одинаковые объёмы. Какая деталь имеет наибольшую массу, какая – наименьшую? Пустот в деталях нет.
- 32.4** ● Кусок металла объёмом 250 см<sup>3</sup> имеет массу 1750 г. Что это за металл?
- 32.5** ● На чашки уравновешенных весов поставлены одинаковые стаканы. После того, как в один стакан налили молоко, а в другой – подсолнечное масло, равновесие весов не нарушилось. Объём какой из жидкостей больше? Ответ обосновать.

### § 33. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА»



Мало иметь хороший ум, главное – хорошо его применять.

*Р. Декарт (1596–1650),  
французский философ и учёный*

Вам уже известна физическая величина «ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА».

**Виды задач.** По теме «Плотность вещества» можно выделить следующие виды задач:

#### 1. Качественные задачи.

В задачах-вопросах надо выяснить, например, какое из рассматриваемых тел будет иметь бóльшую или меньшую массу или объём, какое из веществ плотнее. Для решения таких задач не нужно, как правило, проводить расчёты, а необходимо отчётливо понимать, что плотность – это масса в единице объёма вещества.

#### 2. Задачи на формулу плотности вещества.

Плотность вещества, массу или объём тела определяют, используя формулу

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

Возможны задачи, где дополнительно потребуется рассчитать объём тела по его известным размерам, например, если тело имеет форму бруска, – то по его длине, ширине и высоте.

### 3. Задачи на расчёт плотности смеси веществ.

В таких задачах формулу для расчёта плотности вещества необходимо применить несколько раз, чтобы определить отдельные неизвестные величины.

### 4. Комбинированные задачи.

При решении комбинированных задач приходится дополнительно использовать:

- формулу для расчёта объёма тела по его известным размерам;
- формулу для расчёта силы тяжести (например, чтобы определить массу тела);
- формулу для расчёта механической работы постоянной силы, мощности, КПД и так далее.

### Примеры решения задач.

**Задача 1.** Сравните плотность твёрдого тела – янтаря ( $1,1 \text{ г/см}^3$ ) и жидкости – глицерина ( $1260 \text{ кг/м}^3$ ).

*Дано:*

Янтарь и глицерин

$$\rho_{\text{янтарь}} = 1,1 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_{\text{глицерин}} = 1260 \text{ кг/м}^3$$

Сравнить плотности

*Решение:*

При сравнении физических величин необходимо, как вы знаете, чтобы они были выражены в одинаковых единицах измерений. Вспомним, что

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}, \text{ а } 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}.$$

Значит,

$$1 \text{ см}^3 = 1 \text{ см} \cdot 1 \text{ см} \cdot 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м} \cdot 0,01 \text{ м} \cdot 0,01 \text{ м}.$$

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

Тогда

$$\rho_{\text{янтарь}} = 1,1 \text{ г/см}^3 = \frac{1,1 \cdot 0,001 \text{ кг}}{0,000\,001 \text{ м}^3}.$$

$$\rho_{\text{янтарь}} = 1100 \text{ кг/м}^3.$$

*Ответ:* плотность янтаря меньше плотности глицерина.

Полезно запомнить и использовать при решении задач такое соотношение:

$$1 \text{ г/см}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3.$$

(Докажите это самостоятельно.)

**Задача 2.** Определите массу воздуха в кабинете физики.

*Дано:*

Воздух в кабинете

$m - ?$

*Решение:*

Для определения массы тела необходимо знать плотность его вещества и объём тела. Плотность воздуха – табличное данное (смотрите таблицу 4). Объём  $V$ , занимаемый воздухом, неизвестен, но его легко определить, зная длину  $a$ , ширину  $b$  и высоту  $c$  кабинета:

$$V = abc. \quad (33.1)$$

Запишем формулу, определяющую плотность:

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

отсюда

$$m = \rho V.$$

С учётом формулы (33.1) окончательно имеем

$$m = \rho abc.$$

Измерьте длину, ширину, высоту кабинета и вычислите массу воздуха.

Действия с единицами измерений:

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

Обратите внимание на численный ответ задачи. Наверное, вы не ожидали, что в кабинете физики находятся более сотни килограммов воздуха!

**Задача 3.** Какова должна быть вместимость цистерны, чтобы хранить в ней 40 т нефти?



33.1. Какую физическую величину вам необходимо определить в задаче?

*Дано:*

Цистерна

$\rho_{\text{нефть}} = 800 \text{ кг/м}^3$

$m = 40 \text{ т}$

$V - ?$

*СИ:*

40 000 кг

*Решение:*

По условию задачи вам необходимо выяснить, каков объём 40 т нефти. Так как масса и плотность нефти известны, то её объём несложно определить.

$$\rho_{\text{нефть}} = \frac{m}{V},$$



отсюда

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{нефть}}}.$$

$$V = \frac{40\,000 \text{ кг}}{800 \text{ кг/м}^3} = 50 \text{ м}^3.$$

Действия с единицами измерений:

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

Обсудите дополнительно вопрос, когда – зимой или летом – для хранения одной и той же массы топлива потребуется цистерна большей вместимости.

Ответ:  $V = 50 \text{ м}^3$ .



**Задача 4.** В стакане с чистой водой объёмом  $200 \text{ см}^3$  размешали такое количество соли, что плотность солёной воды стала равной  $1,1 \text{ г/см}^3$ . Сколько граммов соли растворили в воде?

Дано:

Раствор соли в воде

$$V = 200 \text{ см}^3$$

$$\rho_{\text{чист. в}} = 1,0 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_{\text{сол. в}} = 1,1 \text{ г/см}^3$$

$$m_{\text{соль}} - ?$$

Решение:

Для удобства проведения вычислений в этой задаче численные значения величин не будем переводить в Международную систему единиц (СИ).

Плотность солёной воды определяется массой раствора «вода + соль» и объёмом раствора, равного объёму чистой воды  $V$  (после растворения соли объём не увеличился).

$$\rho_{\text{сол. в}} = \frac{m_{\text{соль}} + m_{\text{чист. в}}}{V}, \quad (33.2)$$

где  $m_{\text{чист. в}}$  – масса чистой воды, которая нам неизвестна.

Определим массу чистой воды:

$$\rho_{\text{чист. в}} = \frac{m_{\text{чист. в}}}{V}.$$

Отсюда

$$m_{\text{чист. в}} = \rho_{\text{чист. в}} V.$$

Подставим данное выражение в формулу (33.2):

$$\rho_{\text{сол. в}} = \frac{m_{\text{соль}} + \rho_{\text{чист. в}} V_{\text{чист. в}}}{V_{\text{чист. в}}}. \quad (33.3)$$

Это выражение содержит только одну неизвестную величину – массу соли  $m_{\text{соль}}$ , которую и необходимо определить.

Преобразуем выражение (33.3).

$$\begin{aligned} m_{\text{соль}} + \rho_{\text{чист. в}} V_{\text{чист. в}} &= \rho_{\text{сол. в}} V_{\text{чист. в}}, \\ m_{\text{соль}} &= \rho_{\text{сол. в}} V_{\text{чист. в}} - \rho_{\text{чист. в}} V_{\text{чист. в}}, \\ m_{\text{соль}} &= (\rho_{\text{сол. в}} - \rho_{\text{чист. в}}) V_{\text{чист. в}}, \\ m_{\text{соль}} &= (1,1 \text{ г/см}^3 - 1,0 \text{ г/см}^3) \cdot 200 \text{ см}^3 = 20 \text{ г}. \end{aligned}$$

Действия с единицами измерений:

$$(\text{г/см}^3 - \text{г/см}^3) \cdot \text{см}^3 = \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot \text{см}^3 = \text{г}.$$

Ответ:  $m_{\text{соль}} = 20 \text{ г}$ .

**Задача 5.** Какова плотность сплава, содержащего 100 г серебра и 200 г золота? Считать, что объём сплава равен сумме объёма его составных частей.

Дано:

Сплав золота и серебра

$$m_{\text{серебр}} = 100 \text{ г}$$

$$m_{\text{зол}} = 200 \text{ г}$$

$$\rho_{\text{серебр}} = 10,5 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_{\text{зол}} = 19,3 \text{ г/см}^3$$

---


$$\rho_{\text{спл}} - ?$$

Решение:

Для удобства проведения вычислений в этой задаче численные значения величин не будем переводить в Международную систему единиц. Для того чтобы определить плотность сплава, необходимо знать массу сплава  $m_{\text{спл}}$  и его объём  $V_{\text{спл}}$ . Массу сплава  $m_{\text{спл}}$  определим сразу:

$$m_{\text{спл}} = m_{\text{серебр}} + m_{\text{зол}}. \quad (33.4)$$

Объём сплава  $V_{\text{спл}}$  по условию задачи равен сумме объёма его составных частей, т. е. объёму серебра  $V_{\text{серебр}}$  и объёму золота  $V_{\text{зол}}$ .

$$V_{\text{спл}} = V_{\text{серебр}} + V_{\text{зол}}. \quad (33.5)$$

Для определения объёмов серебра и золота воспользуемся формулой для расчёта плотности вещества:

$$\rho_{\text{серебр}} = \frac{m_{\text{серебр}}}{V_{\text{серебр}}}, \quad \rho_{\text{зол}} = \frac{m_{\text{зол}}}{V_{\text{зол}}}.$$

$$V_{\text{серебр}} = \frac{m_{\text{серебр}}}{\rho_{\text{серебр}}}. \quad (33.6)$$

$$V_{\text{зол}} = \frac{m_{\text{зол}}}{\rho_{\text{зол}}}. \quad (33.7)$$

Подставим полученные выражения (33.6) и (33.7) в формулу (33.5):

$$V_{\text{спл}} = \frac{m_{\text{серебр}}}{\rho_{\text{серебр}}} + \frac{m_{\text{зол}}}{\rho_{\text{зол}}}. \quad (33.8)$$

Плотность сплава равна

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{m_{\text{спл}}}{V_{\text{спл}}}.$$

С учётом формул (33.4) и (33.8) окончательно имеем

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{m_{\text{серебр}} + m_{\text{зол}}}{\frac{m_{\text{серебр}}}{\rho_{\text{серебр}}} + \frac{m_{\text{зол}}}{\rho_{\text{зол}}}}.$$

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{100 \text{ г} + 200 \text{ г}}{\frac{100 \text{ г}}{10,5 \text{ г/см}^3} + \frac{200 \text{ г}}{19,3 \text{ г/см}^3}} = 16,3 \text{ г/см}^3.$$

Действия с единицами измерений:

$$\frac{\frac{\text{г} + \text{г}}{\frac{\text{г}}{\text{г/см}^3} + \frac{\text{г}}{\text{г/см}^3}}}{\frac{\text{г}}{\text{г/см}^3}} = \frac{\frac{\text{г}}{\text{г/см}^3}}{\frac{\text{г}}{\text{г/см}^3}} = \frac{\frac{\text{г}}{\text{г} \cdot \text{см}^3}}{\frac{\text{г}}{\text{г}}} = \text{г/см}^3.$$

Ответ:  $\rho_{\text{спл}} = 16,3 \text{ г/см}^3$ .

**Задача 6.** В вашем распоряжении имеются два металлических цилиндра одинакового размера, линейка, карандаш и небольшой кусок пластилина. Предложите способ, позволяющий определить, во сколько раз отличаются плотности металлов, из которых изготовлены цилиндры.

*Решение:*

Масса тела  $m$  определяется плотностью вещества  $\rho$ , из которого изготовлено тело, и объёмом тела  $V$ .

$$m = \rho V.$$

По условию задачи цилиндры имеют одинаковый размер, следовательно, их объёмы  $V_1$  и  $V_2$  равны.

$$V_1 = V_2.$$

В таком случае отношение плотностей  $\rho_1$  и  $\rho_2$  металлов, из которых изготовлены цилиндры, определяется отношением их масс  $m_1$  и  $m_2$  соответственно.

Действительно,

$$\begin{aligned} m_1 &= \rho_1 V_1, \\ m_2 &= \rho_2 V_2. \end{aligned}$$

и

Тогда

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2} ,$$

отсюда

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1}{m_2} . \quad (33.9)$$

Каким же образом мы можем определить отношение масс цилиндров, если нет весов? Как имеющиеся в нашем распоряжении линейка, карандаш и пластилин могут помочь нам в решении задачи?

Попробуем воспользоваться известным условием равновесия рычага! Положим линейку сверху на карандаш и расположим цилиндры на линейке так, чтобы линейка находилась в равновесии (рис. 147). Пластилин также пригодится, чтобы закрепить цилиндры.

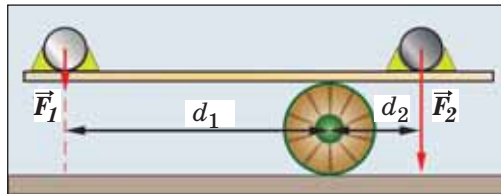


Рис. 147

Запишем условие равновесия рычага:

$$F_1 d_1 = F_2 d_2 , \quad (33.10)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – силы, с которыми цилиндры действуют на линейку-рычаг;  $d_1$  и  $d_2$  – плечи сил.

Силы  $F_1$  и  $F_2$  численно равны соответствующим силам тяжести:

$$F_1 = m_1 g ,$$

$$F_2 = m_2 g .$$

С учётом последних выражений условие равновесия рычага примет вид

$$m_1 g d_1 = m_2 g d_2 .$$

Или

$$m_1 d_1 = m_2 d_2 ,$$

отсюда

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{d_2}{d_1} .$$

С учётом соотношения (33.9) окончательно имеем

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{d_2}{d_1} .$$

Таким образом, для определения отношения плотностей металлов, из которых изготовлены цилиндры, достаточно измерить плечи сил при равновесии линейки-рычага.

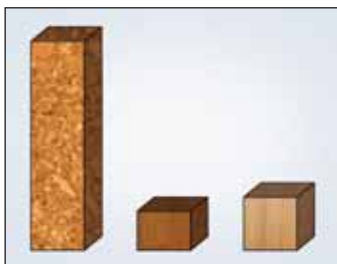


Рис. 148

**33.1** ● На рисунке 148 изображены бруски, изготовленные из сосны, пробки и дуба. Массы брусков равны. Определите по рисунку, из какого материала изготовлен каждый из брусков. Пустот бруски не имеют.

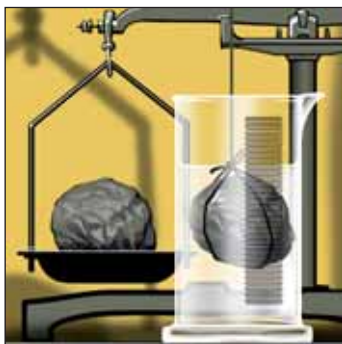
**33.2** ● В баллон вместимостью  $0,04 \text{ м}^3$  накачали  $300 \text{ г}$  кислорода. Вычислите, какова плотность кислорода в баллоне. Первоначально баллон был пуст. Почему полученный вами результат не совпадает со значением плотности, указанной в таблице 4?

**33.3** ● Сколько килограммов мёда вмещается в трёхлитровую банку? (Подсказка.  $1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$ .)

**33.4** ● Металлический кубик размером  $4 \times 4 \times 4 \text{ см}$  имеет массу  $672 \text{ г}$ . Из какого металла он изготовлен?

**33.5** ● В мензурку налито  $150 \text{ см}^3$  воды. До какого деления поднимется уровень воды в мензурке, если в неё погрузить (полностью) железный груз массой  $100 \text{ г}$ ? Груз пустот не имеет.

#### § 34. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА»



Маленькое дело лучше большого безделья.

*Русская пословица*

Вам уже известна физическая величина «плотность вещества».

#### Лабораторная работа.

**Оборудование:** весы с разновесами, измерительный цилиндр (мензурка), измерительная линейка, твёрдое тело неправильной формы на нитке, деревянный брусок, стакан, кусок пластилина на нитке.



**Задание 1.** Определите плотность твёрдого тела. Для измерения массы тела используйте весы с разновесами. Для измерения объёма тела используйте измерительный цилиндр (мензурку). Выразите плотность тела в  $\text{г}/\text{см}^3$  и  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Сравните полученный результат с табличным значением плотности.



**Задание 2.** Определите плотность дерева. Для определения объёма деревянного бруска измерьте его длину, ширину и высоту. Выразите плотность дерева в  $\text{г}/\text{см}^3$  и  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Сравните полученный результат с табличным значением плотности.



**Задание 3.** Определите плотность воды. (Подсказка. Прежде чем измерить массу воды, не забудьте измерить массу пустого стакана.) Выразите плотность воды в  $\text{г}/\text{см}^3$  и  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Сравните полученный результат с табличным значением плотности.



**Задание 4.** Выясните, имеются ли внутри куски пластилина «тяжёлые примеси» – стальные шарики, болты, гайки. Плотность «чистого» пластилина –  $1,2 \text{ г}/\text{см}^3$ . Разламывать кусок пластилина на части нельзя.



**Расчёт погрешности измерений.** При определении плотности вещества вам необходимо было измерить массу тела и его объём. Измерение и массы, и объёма выполнялось, конечно же, с некоторой погрешностью.

Относительная погрешность измерения<sup>1</sup> массы  $\varepsilon_m$  равна

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m},$$

где  $m$  – измеренная масса;

$\Delta m$  – погрешность измерения массы, которую можно принять равной половине массы последнего (самого маленького) разновеса, использовавшегося при измерениях массы.

Относительная погрешность измерения объёма  $\varepsilon_V$  равна

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V},$$

где  $V$  – измеренный объём;

$\Delta V$  – погрешность измерения объёма, которая равна цене деления измерительного цилиндра (мензурки), если объём тела находится с его помощью.

Относительная погрешность определения плотности равна

$$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta \rho}{\rho},$$

где  $\rho$  – вычисленное значение плотности;

$\Delta \rho$  – погрешность определения плотности.

<sup>1</sup> Об относительной погрешности измерения рассказывалось в § 3 учебника.

Знак  $\Delta$  (читается: дельта) указывает на то, что мы имеем дело с малой величиной. Запись  $\Delta m$  (читается: дельта эм) обозначает погрешность измерения массы.

Для вычисления погрешности определения плотности  $\Delta\rho$  необходимо знать значение плотности  $\rho$  и относительную погрешность определения плотности  $\varepsilon_\rho$ :

$$\Delta\rho = \varepsilon_\rho \rho.$$

Как рассчитать относительную погрешность  $\varepsilon_\rho$ ?

Относительная погрешность определения плотности  $\varepsilon_\rho$  равна сумме относительных погрешностей измерения массы и объёма:

$$\varepsilon_\rho = \varepsilon_m + \varepsilon_V.$$

**Задание 5.** Вычислите относительную погрешность определения плотности  $\varepsilon_\rho$  и погрешность определения плотности  $\Delta\rho$ , используя результаты задания 1.

**Задание 6.** Вычислите относительную погрешность определения объёма  $\varepsilon_V$  и погрешность определения объёма  $\Delta V$ , используя результаты задания 2. (Подсказка. Относительная погрешность определения объёма  $\varepsilon_V$  при использовании линейки равна сумме относительных погрешностей измерения длины, ширины и высоты. Погрешность измерения длины, ширины и высоты равна половине цены деления линейки – 0,5 мм.)

**34.1** ● Для промывки металлических деталей их опускают в бак с керосином. В каком случае уровень в баке станет выше: если погрузить деталь из алюминия или деталь такой же массы из меди? Детали пустот не имеют. Ответ обосновать.

**34.2** ● Латунь – это сплав двух металлов: меди и цинка. Для получения сплава было взято 100 см<sup>3</sup> меди и 100 см<sup>3</sup> цинка. Определите плотность латуни, полученной при этом. Считать, что объём сплава равен сумме объёмов использованных металлов.

**34.3** ● Для определения плотности гранитный камень прикрепляют к крючку пружинного динамометра, а затем полностью погружают в мензурку с водой (рис. 149, а и б). Какое значение плотности гранита будет получено в результате проведённых измерений?

**34.4** ● На столе находится кусок кирпича объёмом 200 см<sup>3</sup>. Вычислите силу тяжести, действующую на кирпич. Изобразите эту силу на чертеже.

**34.5** ● Бетонную плиту размером 2,5 × 1,2 × 0,15 м равномерно подняли краном на высоту 7 м. Определите механическую работу, совершённую при подъёме плиты.

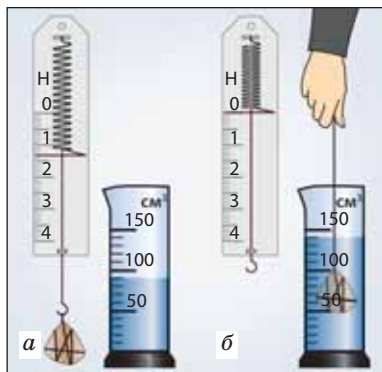


Рис. 149





## Самое важное в разделе «Внутреннее строение вещества»

1. Вещество состоит из отдельных частиц – атомов и молекул.
2. Атом имеет ядро, вокруг которого движутся электроны. Электроны удерживаются в атоме электрическими силами.
3. Ядро атома состоит из протонов и нейтронов.
4. Атомы и молекулы взаимодействуют силами (электрическими по своей природе).
5. Атомы и молекулы находятся в непрерывном беспорядочном движении. Этим объясняется, например, явление диффузии.
6. Чем больше энергия движения частиц вещества, тем выше его температура.
7. Вещество может находиться в газообразном, жидком или твёрдом состояниях. Расстояние между частицами, характер движения частиц и степень их взаимодействия различны в газообразном, жидком и твёрдом состояниях вещества.
8. Вещества характеризуются плотностью. Плотность вещества численно равна массе в единице объёма вещества.

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


$$1 \text{ г/см}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3.$$

**IV.1**  Сравните<sup>1</sup> частицы: электрон, протон, нейтрон.

**IV.2**  Для обнаружения и сравнения величины электрических зарядов используют электромметр (рис. 127). Предложите иную конструкцию прибора для обнаружения и сравнения величины зарядов.



**IV.3.** Предложите способ измерения скорости диффузии в газах. По возможности сделайте соответствующие опыты. (Учтите, что если ваш способ будет основан, например, на распространении запаха вещества, то нужно будет избежать влияния сквозняков, ветра, т. е. перемещения самого воздуха.)

**IV.4**  Два шарика одинакового размера – медный и железный – движутся навстречу друг другу. Какой шарик больше изменит свою скорость при столкновении? Шарики пустот не имеют.



**IV.5.** Определите, какова плотность вашего тела.

<sup>1</sup> Смотрите сноску на странице 152.

## P. S.



До изучения этого раздела многие слова – «атом», «молекула», «электрические силы», «газы», «жидкости», «твёрдые тела» – вы только слышали. Теперь же для вас они наполнились определённым физическим содержанием.

Но трудно даже перечислить все те вопросы, которые ещё не упоминались в этом разделе. Вот только некоторые из них:

– Как провести расчёт сил взаимодействия между электрически заряженными частицами.

– Как учёные измеряют массу атомов и молекул, как рассчитывают число молекул вещества, скорость движения молекул.

– Как определить энергию движения молекул вещества, если известна температура тела.

– При каких условиях возможен переход из одного состояния в другое (например, из жидкости в твёрдое состояние, из газа в жидкость).

– Как плотность вещества зависит от массы молекулы этого вещества.

– Зависят ли свойства вещества от количества электронов в атоме.

Ответ на последний вопрос – это область отдельной науки – химии. Химия выясняет, как свойства веществ изменяются при объединении молекул различных веществ в общую молекулу более сложного вещества или при разделении сложной молекулы одного вещества на более простые молекулы других веществ.

Химические знания являются основой многих производств – металлургии, переработки нефти, получения пластмасс и изготовления бензина, создания лекарств. При этом, конечно же, не обойтись без физических знаний и тех приборов и технических устройств, которые созданы учёными-физиками, конструкторами, изобретателями.

## Раздел 5.

# Давление твёрдых тел, жидкостей и газов

### § 35. Давление

### § 36. Решение задач на расчёт давления

### § 37. Давление газа

Причина давления газа

Измерение давления газа

От чего зависит давление газа

### § 38. Закон Паскаля

Закон Паскаля

Применение закона Паскаля на практике

### § 39. Давление жидкости

Вывод формулы для расчёта давления столба жидкости

Зависимость давления от плотности жидкости

Зависимость давления от высоты столба жидкости

### § 40. Решение задач на расчёт давления жидкости

### § 41. Сообщающиеся сосуды

Ошибка древних римлян

Сообщающиеся сосуды

«Нарушение» правила сообщающихся сосудов

### § 42. Атмосферное давление

Измерение атмосферного давления

Барометр-анероид

### § 43. Архимедова сила

Действие жидкости на тело

От чего зависит выталкивающая сила

Причина возникновения выталкивающей силы

### § 44. Расчёт архимедовой силы

Вывод формулы архимедовой силы

Архимедова сила в газах

### § 45. Плавание тел. Воздухоплавание

Условие плавания тел

Подводная техника

Плавание судов

Воздухоплавание

## § 46. Решение задач по теме «Архимедова сила»

Секрет решения задач

Задачи по теме «Архимедова сила»

Самое важное в разделе «Давление твёрдых тел, жидкостей и газов»

P. S.

### § 35. ДАВЛЕНИЕ

Ежа без рукавиц не удержишь.

*Русская пословица*



Вы уже знаете, что результат действия силы зависит от величины силы.

Выясним, только ли от величины силы зависит оказываемое ею действие. Продеваем опыт. В деревянную дощечку вобьём по её углам гвозди так, чтобы они вышли с другой стороны. Закрепим между двумя штативами лист бумаги и установим на этот лист дощечку остриями гвоздей вверх.

Поставим небольшую гирю (рис.150). Шляпки гвоздей не прорвали бумагу. Утяжелим гирю (рис.151), и шляпки гвоздей прорывают бумагу.



35.1. Какой факт подтверждают результаты данного опыта?

Мы видим, что, действительно, действие силы зависит от величины (модуля) силы.

Продолжим опыт. Перевернём дощечку и поставим гвозди на острия. Вновь нагрузим дощечку малой гирей. Но в этом случае даже малая сила производит большое действие, и острия гвоздей прорывают бумагу (рис.152).



35.2. Какое противоречие вы наблюдали в опытах (рис. 150 и 152)? Сформулируйте вопрос, в котором было бы отражено это противоречие. Сравните свою формулировку вопроса с той формулировкой, что предложена автором.



35.3. Почему в опыте (рис. 152) бумага прорывается даже под действием малой силы?

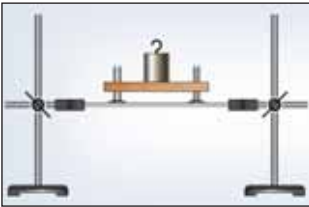


Рис. 150

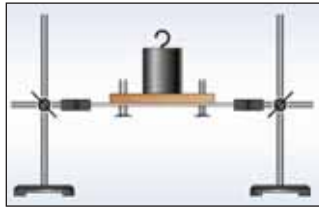


Рис. 151

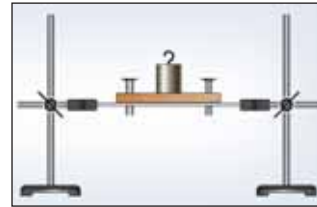


Рис. 152

Дело в том, что когда на бумагу действуют острия гвоздей, то площадь опоры меньше, и в итоге на единицу площади опоры приходится бóльшая сила.

Как видно из опытов, результат действия силы зависит от модуля силы и от площади поверхности, к которой приложена сила. Точнее, **результат действия силы зависит от того, какая сила приходится на единицу площади поверхности опоры.**

Этот вывод подтверждается многими наблюдениями. Например, попробуем копать почву тупой лопатой – с большей площадью поверхности острия. Тогда для достижения такого же результата, что и при использовании острой лопаты, необходимо прикладывать бóльшую силу. В самом деле, ведь надо, чтобы на каждый квадратный миллиметр острия лопаты приходилась определённая сила (иначе лопата не войдёт в почву). Но у тупой лопаты площадь поверхности больше, а значит, потребуется и бóльшая сила.

**Физическая величина, характеризующая силовое действие одного тела на поверхность другого тела, называется давлением.**

Давление – величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поверхности перпендикулярно поверхности.



35.4. В каком случае человек производит большее давление на снег – когда движется на лыжах или когда идёт без лыж?

Если сила  $F$  действует перпендикулярно поверхности площадью  $s$ , то давление  $p$ , создаваемое силой, рассчитывается по формуле

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



35.5. Какой величиной – скалярной или векторной – является давление?



**Блэз Паскаль (1623–1662).** Французский философ, писатель, математик и физик. Автор известных работ по арифметике и алгебре. Установил закон передачи давления жидкостями и газами. Сыграл значительную роль в формировании французской литературы.

Из высказываний Б. Паскаля: «Доводы, до которых человек додумался сам, обычно убеждают его больше, нежели те, которые пришли в голову другим».

Единица измерения давления получила название паскаль (сокращённо обозначается Па) в честь выдающегося французского учёного Блэза Паскаля.



35.6. Как выразить единицу давления паскаль (Па) через единицу силы ньютон (Н) и единицу площади квадратный метр ( $\text{м}^2$ )?

Давление, производимое силой, равно 1 Па, если на плоскую поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$  действует сила в 1 Н перпендикулярно этой поверхности. Для примера: гусеничный трактор оказывает давление на почву в 40 000–50 000 Па, колёса легкового автомобиля – около 200 000 Па, а фундамент Останкинской телебашни производит давление на почву в 270 000 Па.

Помимо единицы давления паскаль используются и другие единицы – *килопаскаль* (сокращённо обозначается кПа) и *мегапаскаль* (сокращённо обозначается МПа).

$$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па.}$$

$$1 \text{ МПа} = 1\,000\,000 \text{ Па.}$$



35.7. Сколько килопаскалей (кПа) в одном мегапаскале (МПа)?

Для измерения давления существуют специальные приборы (их устройство мы рассмотрим позже). Давление, производимое некоторой силой, можно также определить, измерив величину силы и площадь, на которую она действует.

$$\text{Давление, } p = \frac{F}{S}, \text{ паскаль (Па).}$$

**35.1** ● Подготовьте ответ о давлении по плану ответа о физической величине.

**35.2** ● Когда человек оказывает большее давление на дорогу – когда он идёт по дороге или стоит на одном месте?

**35.3** ● Какое давление можно произвести шилом, если действовать на рукоятку шила силой 150 Н? Площадь острия шила  $0,1 \text{ мм}^2$ .



Рис. 153

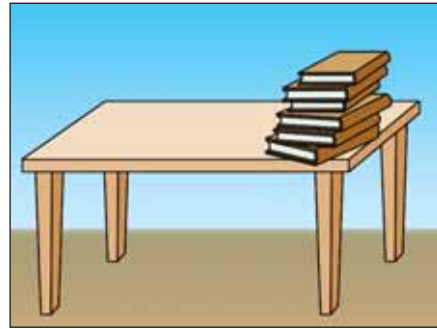
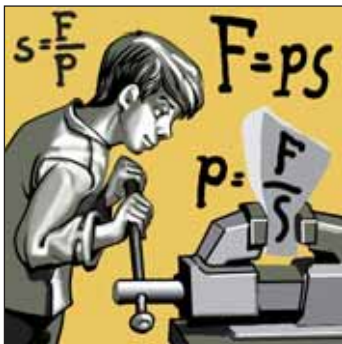


Рис. 154

- 35.4** ● На рисунке 153 (а, б) изображены рыбаки, оказывающие помощь человеку, провалившемуся под лёд. На каком из рисунков показаны более правильные действия по оказанию помощи? Ответ обосновать.
- 35.5** ● На столе находится стопка книг (рис. 154). Одинаковое ли давление производят ножки стола на пол? Ответ обосновать.

§ 36. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ



Величие человека – в его способности мыслить.

Из книги Блэза Паскаля «Мысли», 1670

Вы уже знакомы с физической величиной «давление».

Чтобы вы могли более успешно решать задачи, связанные с расчётом давления, рассмотрите схему на рисунке 155 и прокомментируйте её.

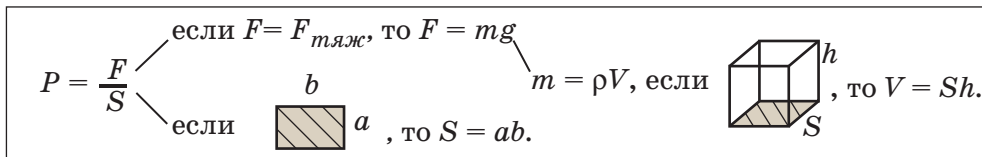


Рис. 155



**Задача 1.** Лёд на реке выдерживает давление 90 кПа. Пройдёт ли по этому льду трактор массой 5,4 т, если он опирается на гусеницы общей площадью 1,5 м<sup>2</sup>?

*Дано:*  
Трактор  
 $m = 5,4$  т  
 $s = 1,5$  м<sup>2</sup>  
 $p_{\text{лёд}} = 90$  кПа  
?

*СИ:*  
5400 кг  
90 000 Па

*Решение:*  
Трактор сможет пройти по льду, если оказываемое им давление будет меньше предельного значения давления 90 кПа. В противном случае лёд разрушится, и трактор провалится под лёд. Следовательно, для того чтобы ответить на вопрос задачи, необходимо рассчитать давление, оказываемое трактором.



36.1. Что необходимо знать для расчёта давления?

Площадь опоры (гусениц) известна. Необходимо найти силу, с которой трактор действует на лёд. Эта сила численно равна силе тяжести, действующей на трактор. Силу тяжести можно вычислить.

Итак,

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

но

$$F = F_{\text{тяж}},$$

$$F_{\text{тяж}} = mg.$$

Следовательно,

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

$$p = \frac{5\,400 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг}}{1,5 \text{ м}^2} = 35\,000 \text{ Па}.$$

$$p = 35 \text{ кПа}.$$

Действия с единицами измерений:

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

*Ответ:* как видим, давление, производимое трактором, меньше предельного значения давления. Следовательно, трактор пройдёт по такому льду.

**Задача 2.** С какой силой нужно действовать на кнопку, чтобы воткнуть её в деревянный брусок? Дерево выдерживает давление до 100 МПа. Площадь острия кнопки 0,1 мм<sup>2</sup>.



36.2. Сколько квадратных миллиметров в одном квадратном метре?

*Дано:*

Кнопка

$$s = 0,1 \text{ мм}^2$$

$$p = 100 \text{ МПа}$$

$F - ?$

Итак,

Отсюда

*СИ:*

$$0,000\ 000\ 1 \text{ м}^2$$

$$100\ 000\ 000 \text{ Па}$$

*Решение:*

По условию задачи необходимо определить значение силы, которая, действуя на опору (острие кнопки) площадью  $s$ , оказывает давление  $p$ .

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

$$F = ps .$$

$$F = 100\ 000\ 000 \text{ Па} \cdot 0,000\ 000\ 1 \text{ м}^2 = 10 \text{ Н} .$$

Действия с единицами измерений:

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

*Ответ:*  $F = 10 \text{ Н}$ .

**Задача 3.** Станок массой 500 кг расположен на горизонтальном фундаменте. Какова должна быть площадь основания станка, чтобы давление на фундамент не превышало 0,2 МПа?

*Дано:*

Станок

$$m = 500 \text{ кг}$$

$$p = 0,2 \text{ МПа}$$

$s - ?$

*СИ:*

$$200\ 000 \text{ Па}$$

*Решение:*

Для расчёта площади основания станка, на которую сила  $F$  оказывает давление  $p$ , необходимо знать значение давления  $p$  и значение силы  $F$ . Величина силы  $F$  неизвестна, но она может быть определена – в условии задачи указана масса станка, действующего на фундамент.

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

*Ответ:*  $s = 250 \text{ см}^2$ .



36.3. Представим, что станок опирается на фундамент четырьмя квадратными ножками. Каковы тогда размеры ножек? Реален ли результат, полученный при решении задачи?



**Задача 4.** Определите давление, производимое кирпичом на поверхность стола при вертикальном положении кирпича (рис. 156).

*Решение:*

Для расчёта давления, производимого силой  $F$  на опору площадью  $s$ , необходимо знать значения силы  $F$  и площади опоры  $s$ . Площадь опоры можно определить, измерив размеры кирпича  $a$  и  $b$  (рис. 156).

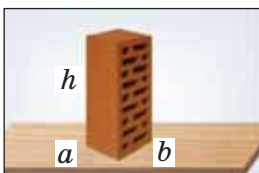


Рис. 156

$$s = ab. \quad (36.1)$$

Сила  $F$ , с которой кирпич действует на опору, равна силе тяжести.

$$F = mg. \quad (36.2)$$

Тогда с учётом формул (36.1) и (36.2) имеем

$$p = \frac{mg}{ab}. \quad (36.3)$$



36.4. Как определить массу тела, если известны плотность и объём тела?

Запишем формулу, позволяющую определить массу кирпича.

$$m = \rho V. \quad (36.4)$$

С учётом формулы (36.4) выражение (36.3) примет вид

$$p = \frac{\rho Vg}{ab}.$$

Объём кирпича легко определить:

$$V = abh.$$

Тогда окончательно получим

$$p = \frac{\rho abhg}{ab},$$

$$p = \rho gh.$$



36.5. Проанализируйте<sup>1</sup> решение задачи и выясните, нужно ли было проводить действия по нахождению площади опоры.

*Дано:*  
Кирпич  
 $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$   
 $h = 25 \text{ см}$   
 $p = ?$

*СИ:*  
 $0,25 \text{ м}$

*Решение:*  
 $p = \rho gh.$   
 $p = 1800 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 0,25 \text{ м} = 4400 \text{ Па}.$   
 $p = 4,4 \text{ кПа}.$

Действия с единицами измерений:

$$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \cdot \text{м} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

*Ответ:*  $p = 4,4 \text{ кПа}.$

<sup>1</sup> Анализировать – исследовать что-либо путём рассмотрения отдельных сторон, свойств.

**36.1** ● Почему гусеницы у трактора делают широкими? С какой целью на гусеницах делают острые выступы?

**36.2** ● Человек, поставив лопату вертикально, нажимает на неё с силой 500 Н. Какое давление производит лопата на почву, если ширина лезвия лопаты составляет 20 см, а толщина режущего края 0,4 мм? (Подсказка. Вспомните, как находится площадь прямоугольника.) Каким образом можно увеличить давление, производимое лопатой на почву?

**36.3** ● Один кирпич поставлен на другой различными способами, как это показано на рисунке 157. Одинаковое ли давление производит кирпич на стол в обоих случаях? Ответ обосновать.

**36.4** ● Какое давление производит на грунт мраморная колонна объёмом  $6 \text{ м}^3$ , если площадь основания колонны равна  $1,2 \text{ м}^2$ ?



**36.5.** Проведя необходимые измерения, рассчитайте, какое давление вы производите, стоя на земле.

**36.6** ● На столе находятся две трёхлитровые банки. Одна из них наполнена мёдом, другая – молоком. Какая из банок производит большее давление на стол? Ответ обосновать. Во сколько раз давление больше? Масса пустой банки 700 г.

**36.7** ● На горизонтальном столе лежит медная монета толщиной 2,5 мм. Определите давление, производимое монетой на стол.



**36.8.** Составьте задачу по теме «Давление». (Общие указания по составлению физической задачи приведены в задании 6.7.)

**36.9** ● Алюминиевый кубик со стороной 10 см находится на горизонтальном столе. На кубик сверху поставили железную гирю массой 0,5 кг. Определите, какое давление производит кубик на стол в этом случае. Во сколько раз уменьшится производимое кубиком давление, если убрать гирю?

**36.10** ● На рисунке 158 изображены кусачки. Рассчитайте, какое давление создаётся на режущей кромке кусачек при перекусывании проволоки, если к ручкам инструмента прикладывается сила 40 Н. (Точка приложения сил указана на рисунке.) Площадь соприкосновения режущей кромки кусачек и проволоки равна  $0,5 \text{ мм}^2$ . (Подсказка. Плечи сил можно измерить непосредственно на рисунке.)

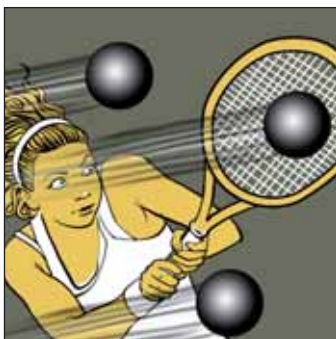


Рис. 157



Рис. 158

## § 37. ДАВЛЕНИЕ ГАЗА



Молекулы газов... движутся прямолинейно с постоянной скоростью до тех пор, пока не ударятся о другие молекулы или же о непроницаемую стенку.

*Р. Клаузиус (1822–1888),  
немецкий физик-теоретик*

Вам уже известна физическая величина «давление».

При взаимодействии твёрдых тел, при их соприкосновении, на поверхность каждого тела действует сила со стороны другого тела. Действие этой силы, как вы знаете, характеризуется физической величиной – давлением. Значение давления в этом случае совершенно не зависит от внутреннего строения тел и определяется только величиной силы и площадью соприкосновения тел. А могут ли оказывать давление газы?

### Причина давления газа.



37.1. Каков характер движения молекул в газах и жидкостях?

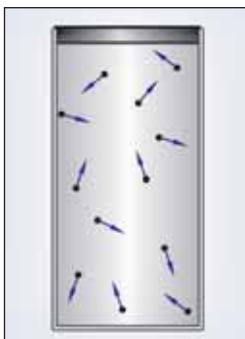


Рис. 159

Пусть вещество находится в баллоне в газообразном состоянии. Молекулы газа совершают непрерывное беспорядочное тепловое движение (рис. 159). При этом молекулы, достигая стенки баллона, ударяются о стенку и действуют на неё с некоторой силой. Удар одной молекулы ничтожно слаб, и никакой прибор не измерит силу этого удара. Но молекул газа огромное количество. В итоге общее действие всех молекул, ударяющихся о стенку баллона, должно быть вполне ощутимо.

Обсудим, как на опыте убедиться в том, что газ действует с некоторой силой на стенки баллона.



37.2. Какой из газов можно взять для проведения опыта? (Этот газ всегда «под рукой».)

37.3. Какими должны быть стенки сосуда, чтобы наглядно обнаружить силу, производимую газом? Что можно использовать в качестве такого сосуда?

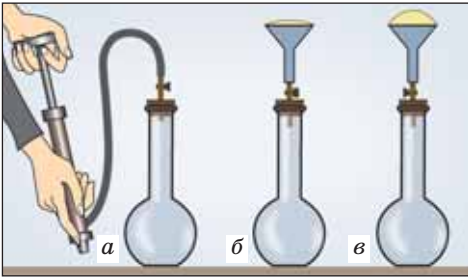


Рис. 160

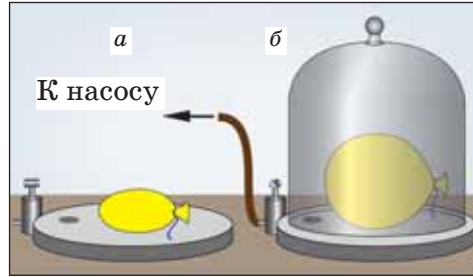


Рис. 161

Насосом накачаем воздух в колбу (рис. 160, а). Перекроем кран, чтобы воздух не выходил из колбы, и отсоединим насос. Резиновым шлангом соединим колбу со стеклянной воронкой, широкая часть которой затянута резиновой плёнкой (рис. 160, б). Откроем кран. Воздух, находящийся в колбе, заполнит воронку, и резиновая плёнка выгнется наружу (рис. 160, в). Это свидетельствует о том, что воздух в колбе действует на плёнку с некоторой силой.

Рассмотрим ещё один опыт. Под колокол воздушного насоса поместим завязанный резиновый шарик с некоторым количеством воздуха (рис. 161, а). Насосом откачаем воздух из-под колокола. При этом шарик увеличится в размере, раздуется (рис. 161, б). Это объясняется тем, что после того, как из-под колокола выкачали воздух, молекулы воздуха ударяют о резиновую плёнку только изнутри шарика. В результате плёнка растягивается до тех пор, пока сила ударов молекул не уравновесится силой упругости плёнки. Тем самым и этот опыт подтверждает существование силы, действующей на стенку баллона со стороны газа.

Форма, которую принимает оболочка шарика, – шар – свидетельствует о том, что *сила ударов молекул по всем направлениям одинакова*. Это легко понять. **Молекулы газа движутся беспорядочно**, значит, на единицу площади стенки сосуда приходится одинаковое число ударов молекул.

Рассмотренные опыты убеждают в том, что молекулы газа действуют с определённой силой на стенки баллона. Это действие можно охарактеризовать величиной – давлением. **Давление газа  $p$**  может быть рассчитано по формуле, определяющей давление:

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

где  $F$  – сила, с которой молекулы газа действуют на стенку баллона;  
 $s$  – площадь стенки.

Давление газа измеряют в паскалях.



Рис. 162

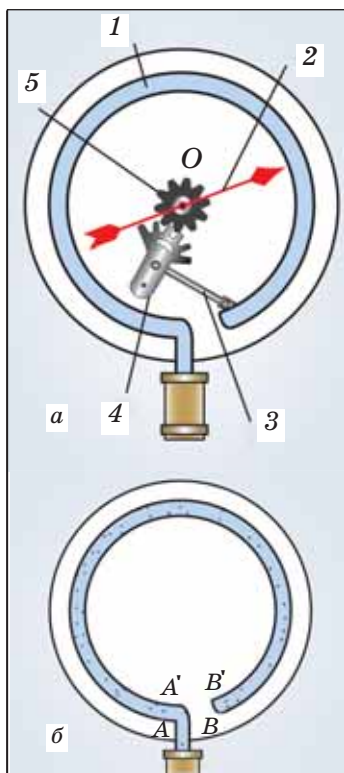


Рис. 163

Однако причина возникновения давления газа иная, чем в случае твёрдых тел. Твёрдое тело производит давление на опору потому, что притягивается к Земле, на тело действует сила тяжести. Газ же производит давление благодаря ударам молекул газа о стенки баллона при беспорядочном тепловом движении молекул.

Для измерения давления газов часто используют прибор – **металлический манометр** (рис. 162). Основная деталь такого прибора – изогнутая металлическая трубка 1, закрытая с одного конца (рис. 163, а). Трубка соединяется со стрелкой 2 посредством тяги 3, зубчатки 4 (вращающейся вокруг оси  $O$ ) и зубчатого колеса (шестерни) 5.

Предположим, что мы присоединили металлический манометр к баллону, наполненному газом, и газ заполнил трубку (рис. 163, б).



37.4. Одинаковым ли будет давление газа на разные стенки изогнутой трубки манометра?

37.5. Одинаковы ли площади внешней ( $AB$ ) и внутренней ( $A'B'$ ) поверхности трубки манометра?

37.6. Одинаковы ли силы газового давления на внешнюю ( $AB$ ) и внутреннюю ( $A'B'$ ) поверхности трубки манометра?

Так как сила газового давления на внешнюю поверхность изогнутой трубки манометра будет больше, чем на внутреннюю поверхность, то трубка немного разогнётся. Стрелка прибора сместится по шкале, указывая величину газового давления. Если отсоединить прибор от баллона, то трубка манометра под действием силы упругости примет прежнюю форму. При этом стрелка прибора вернётся к начальному делению шкалы.



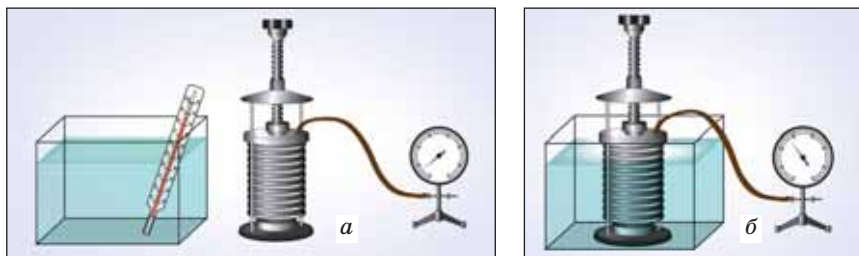


Рис. 164

**От чего зависит давление газа.** Для того чтобы выяснить, от чего зависит давление газа, воспользуемся сосудом, объём которого можно изменять. Соединим сосуд резиновой трубкой с манометром. Уменьшая объём сосуда, сжимая воздух и тем самым увеличивая его плотность, мы наблюдаем увеличение показаний манометра (рис. 164, а).

Повысим температуру воздуха в сосуде. (Для этого достаточно несколько раз облить сосуд горячей водой.) Давление воздуха в сосуде вновь увеличится (рис. 164, б).

Проведённые наблюдения убеждают, что **давление газа тем больше, чем больше его плотность и выше температура.**

Действительно, чем больше плотность газа, тем больше молекул находится в данном баллоне. Значит, *число ударов молекул* ежесекундно на единицу площади будет *больше*. По этой причине и давление газа выше.

Увеличение температуры газа означает, что молекулы движутся с большей скоростью. Значит, *удар, производимый каждой молекулой* при её столкновении со стенкой сосуда, будет *сильнее*. Молекулы, двигаясь быстрее, за меньшее время преодолевают расстояние от одной стенки сосуда до другой. Следовательно, *увеличивается ещё и число ударов молекул о стенки сосуда*. Это и приводит к повышению давления газа с ростом его температуры.

**Давление газа, зависимость давления газа от плотности газа и его температуры, металлический манометр.**

**37.1** ● В цилиндре двигателя внутреннего сгорания давление воздушно-бензиновой смеси достигает 3,5 МПа. Какая сила давления действует при этом на поршень площадью 66 см<sup>2</sup>?

**37.2** ● При накачивании воздуха давление в шинах автомобиля возрастает. Почему? Как можно установить, что давление возросло?

**37.3** ● Почему не следует оставлять велосипед на солнцепёке? Почему опасно нахождение газового баллона в помещении, где начался пожар?



Рис. 165

Давление газа постоянно и равно 250 кПа.

**37.4** ● Давление газа в баллоне первоначально составляло 300 кПа. Каким станет давление газа после того, как 30% газа выпустят из баллона? Ответ обосновать.

**37.5** ● Газ находится в баллоне с подвижным поршнем (рис. 165). Свободному движению поршня препятствует сила трения. При нагревании газ расширяется и его объём увеличивается на 0,002 м<sup>3</sup>. Какая работа совершается газом при расширении?

### § 38. ЗАКОН ПАСКАЛЯ



Преступником было произведено два выстрела. Пуля, попавшая в пустой тонкостенный стакан, пробила в нём лишь два маленьких отверстия. Вторая пуля попала в стакан, наполненный водой, и разбила его вдребезги.

*Из криминальной хроники*

Вам уже известно, каков характер движения частиц в жидкостях и газах.

**Закон Паскаля.** Один из важных физических

законов, имеющих большое значение для практики, был сформулирован Б. Паскалем. Проведём некоторые опыты и постараемся понять, в чём заключается этот закон.

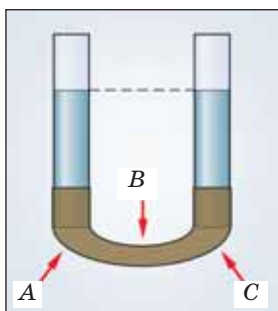


Рис. 166

Две стеклянные трубки расположим вертикально и соединим горизонтальной резиновой трубкой (рис. 166). Трубки наполним водой. Надавим на резиновую трубку ближе к левой трубке (точка А на рисунке 166). Мы обнаружим, что вода одинаково поднимается в обеих частях стеклянной трубки. Значит, давление на воду, производимое при нажатии, одинаково передаётся и влево, и вправо.

Надавим на воду в любом месте резиновой трубки (например, точки В и С на рисунке 166). Вновь обнаружится, что производимое давление передаётся водой одинаково.

Проведём другой опыт. На рисунке 167 изображён прибор, который часто называют прибором Паскаля. Прибор состоит из шара с маленькими отверстиями. К шару присоединена трубка с подвижным поршнем внутри.

Наберём воду в шар и трубку. Надавим на поршень, вдвигая его в трубку. Мы увидим, что вода вытекает одинаковыми струйками по всем направлениям, а не только вдоль направления движения поршня. Выходит, давление, производимое поршнем на поверхность воды в трубке, передаётся одинаковым образом по всем направлениям.

Это напоминает ситуацию, когда не очень вежливый (или совсем невежливый) гражданин пробует войти с большой коробкой в наполненный пассажирами автобус (рис. 168). Когда он толкает коробкой ближайших к нему пассажиров, то они продвигаются и вперёд, и влево, и вправо – по всем направлениям, одновременно сдвигая своих соседей.



38.1. Как, по вашему мнению, будет происходить передача давления в газах?

Для наблюдения передачи давления в газах вновь воспользуемся прибором Паскаля. Но теперь не будем наполнять шар и трубку жидкостью, а опустим прибор в прозрачный сосуд с водой (рис. 169).



38.2. Как произвести давление на воздух в шаре?

Двигая поршень вниз, надавим на воздух в шаре. Мы увидим, что при этом пузырьки воздуха выходят одинаково из всех отверстий шара. Этот опыт показывает, что давление, производимое на газ, также передаётся по всем направлениям одинаково.



38.3. Как объяснить результаты опыта с газом (рис. 169)? Как объяснить результаты опытов, проведённых с жидкостью (рис. 166, 167)?

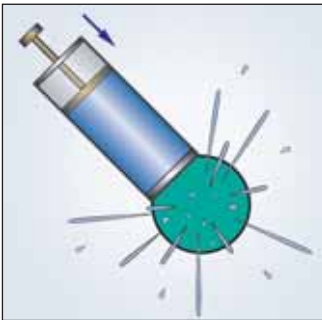


Рис. 167



Рис. 168

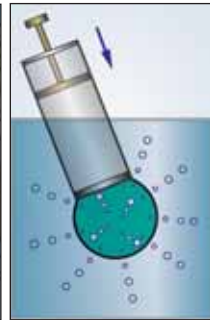


Рис. 169

Молекулы газа, как вы знаете, находятся в беспорядочном непрерывном тепловом движении. Поэтому давление, производимое на некоторую область газа, за счёт движения молекул тут же передаётся другим областям газа. А так как молекулы движутся беспорядочно, то и передача давления происходит не только вдоль направления действия силы, но и по всем другим направлениям. Так же происходит передача давления и в жидкостях. Ведь и в жидкости молекулы находятся в непрерывном тепловом движении, совершая беспорядочные «перескоки». Теперь мы можем сформулировать **закон Паскаля**.

Давление, производимое внешними силами на жидкость или газ, передаётся одинаково по всем направлениям.

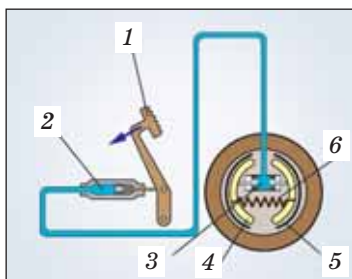


Рис. 170

жидкостью на тормозной цилиндр 3, который смещается и прижимает тормозные колодки 4 к тормозному барабану колеса 5. За счёт трения между тормозной колодкой 4 и барабаном 5 колесо прекращает вращаться, и автомобиль останавливается.

После торможения, когда водитель прекратит давить на тормозную педаль, растянутая пружина 6 сожмётся и вернёт тормозные колодки 4 в исходное положение. При этом поршень в тормозном цилиндре 3 надавит на жидкость, и жидкость, передав давление, вернёт поршень 2 в первоначальное положение.



38.4. Почему попадание воздуха в тормозную систему представляет опасность?

Ещё одним устройством, действие которого основано на законе Паскаля, является **гидравлический пресс**.

<sup>1</sup> От греческого слова *гидравликос* – водяной.

**Применение закона Паскаля на практике.** Закон Паскаля лежит в основе многих технических устройств. В качестве примера рассмотрим устройство автомобильной гидравлической<sup>1</sup> тормозной системы (рис. 170). При торможении водитель давит на тормозную педаль – рычаг 1, тем самым создаётся давление на поршень цилиндра 2. Поршень давит на специальную тормозную жидкость. В соответствии с законом Паскаля давление передаётся

В гидравлическом прессе имеется два цилиндра разного диаметра с подвижными поршнями (рис. 171).

Цилиндры соединены трубкой и заполнены жидкостью (маслом).

Под действуем на малый поршень силой  $F_1$ . Тогда давление на жидкость будет равно

$$p = \frac{F_1}{s_1}, \quad (38.1)$$

где  $s_1$  – площадь малого поршня.

В соответствии с законом Паскаля жидкость будет производить на большой поршень такое же давление. С какой силой  $F_2$  жидкость подействует на большой поршень?

$$F_2 = ps_2.$$

Или с учётом (38.1)

$$F_2 = \frac{F_1 s_2}{s_1}.$$

Значит, сила  $F_2$  больше силы  $F_1$  во столько раз, во сколько площадь  $s_2$  одного поршня больше площади  $s_1$  другого поршня.

**Задача.** В гидравлическом прессе (рис. 171) площадь малого поршня  $0,8 \text{ см}^2$ , а большого –  $26 \text{ см}^2$ . Рассчитайте силу, с которой масло будет действовать на большой поршень, если к малому поршню приложить силу  $160 \text{ Н}$ .

*Дано:*

Гидравлический пресс

$$s_1 = 0,8 \text{ см}^2$$

$$s_2 = 26 \text{ см}^2$$

$$F_1 = 160 \text{ Н}$$

$$F_2 = ?$$

*Решение:*

$$F_2 = \frac{F_1 s_2}{s_1}.$$

$$F_2 = \frac{160 \text{ Н} \cdot 26 \text{ см}^2}{0,8 \text{ см}^2} = 5200 \text{ Н}.$$

*Ответ:*  $F_2 = 5200 \text{ Н}$ .

Проанализируем ответ задачи. Пусть на малый поршень пресса действует сила  $160 \text{ Н}$ , которой достаточно для подъёма гири в  $16 \text{ кг}$ . Тогда на большой поршень жидкость будет действовать с силой, достаточной для подъёма груза массой в полтонны! Этот пример показывает, каким могучим «умножителем силы» является гидравлический пресс.



38.5. Выполняется ли при работе пресса «золотое правило» механики?

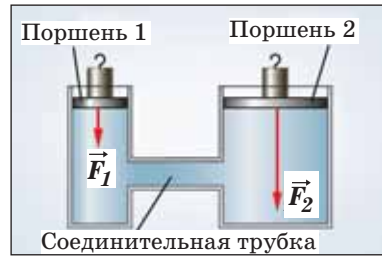


Рис. 171



Рис. 172

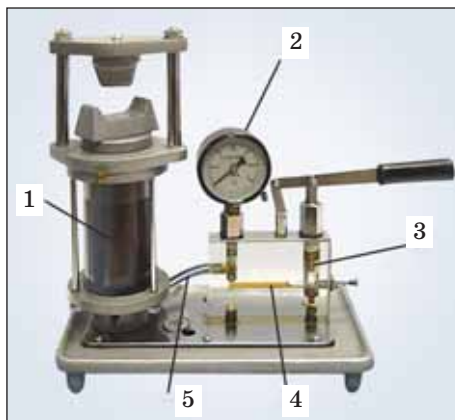



Рис. 173

Современные гидравлические прессы создают силу в сотни миллионов ньютонов (рис. 172). На заводах гидравлические прессы используют для обработки металлов давлением. При этом металлу не только придают нужную форму, но и улучшают его свойства – прочность, упругость. С помощью прессов изготавливают гребные валы судов, гигантские турбины массой в сотни тонн. При этом точность работы такова, что тысячетонный рабочий поршень прессы, например, может аккуратно расколоть грецкий орех, не повредив его сердцевину.

**Закон Паскаля**, автомобильная тормозная система, **гидравлический пресс**.

- 38.1** ● Подготовьте ответ о законе Паскаля по плану ответа о физическом законе.
- 38.2** ● Рассмотрите тюбик с зубной пастой и объясните, как при его использовании проявляется действие закона Паскаля.
- 38.3** ● Выполняется ли закон Паскаля в твёрдых телах? Ответ обосновать.
-  **38.4.** Изготовьте прибор, с помощью которого можно демонстрировать действие закона Паскаля.
- 38.5** ● На рисунке 173 изображён школьный гидравлический пресс. Основные детали прессы: 1 – большой цилиндр с поршнем площадью  $105 \text{ см}^2$ ; 2 – манометр; 3 – малый цилиндр с поршнем площадью  $3 \text{ см}^2$ , который приводится в движение рукояткой в виде рычага с отношением плеч  $1 : 8$ ; 4 и 5 – соединительные трубки. Как работает этот пресс? При действии на рукоятку рычага силой  $210 \text{ Н}$  сила давления большого поршня достигает  $40 \text{ кН}$ . Какой выигрыш в силе даёт пресс? Какой максимальный (наибольший) выигрыш в силе мог бы быть при таком устройстве прессы? Почему максимальный выигрыш в силе не достигается?



## § 39. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ



Океан в некоторых местах имеет глубину более 10 км. Силы давления на таких глубинах исключительно велики. Куски дерева, опущенные на глубину 5 км, уплотняются этим давлением настолько, что... тонут в бочке с водой, как кирпичи.

*Из книги Л. Д. Ландау, А. И. Китайгородского  
«Физика для всех: Физические тела»*

Вам уже известна величина «давление» и формула для её расчёта.

**Вывод формулы для расчёта давления столба жидкости.** Поставим стакан на опорный столик демонстрационного динамометра (рис. 174). Наполним стакан водой. Будет ли вода оказывать давление на столик динамометра? Конечно же, да. Ведь на воду в стакане действует сила тяжести, и вследствие этого вода действует силой на динамометр, производя давление. Рассчитаем это давление. Пусть в бак прямоугольной формы до высоты  $h$  налита жидкость плотностью  $\rho$  (рис. 175). Сила, с которой жидкость действует на дно сосуда, численно равна силе тяжести:

$$F = mg.$$

Массу жидкости  $m$  определим, зная её плотность  $\rho$  и объём  $V$ :

$$m = \rho V.$$

$$F = \rho Vg. \quad (39.1)$$

Давление  $p$ , производимое столбом жидкости, будет равно

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

где  $s$  – площадь дна сосуда.

С учётом формулы (39.1) имеем

$$p = \frac{\rho Vg}{s}. \quad (39.2)$$

Объём жидкости зависит от площади дна сосуда  $s$  и высоты столба  $h$  жидкости:

$$V = sh.$$

Подставив это выражение в формулу (39.2), окончательно имеем

$$p = \rho gh.$$



Рис. 174

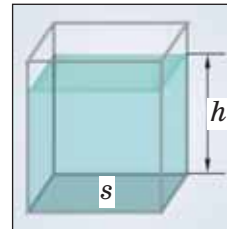


Рис. 175



Как следует из выведенной формулы, **давление, создаваемое столбом жидкости, зависит от плотности жидкости и высоты столба жидкости.**



39.1. Где давление воды в озере больше – на глубине одного метра или на глубине трёх метров? во сколько раз?

39.2. Где давление воды на равной глубине больше – в реке или в море?



Рис. 176

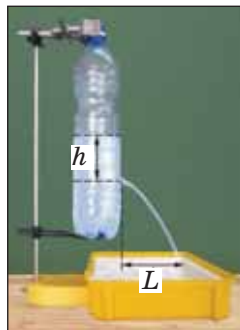


Рис. 177

**Зависимость давления от плотности жидкости.** Зависимость давления, производимого столбом жидкости, от её плотности можно пронаблюдать на опыте. Над демонстрационным динамометром с опорным столиком расположим пластиковую бутылку со срезанным дном. Дно бутылки затащим резиновой плёнкой (рис. 176). Если наполнить бутылку жидкостью, то резиновое дно прогнётся, и жидкость будет давить на столик динамометра. Заполним бутылку вначале водой, а затем маслом, всякий раз наливая жидкость до одинакового уровня.



39.3. Чему равна плотность воды и плотность масла?

Проделав опыт, мы убедимся, что динамометр регистрирует большую силу давления при заполнении бутылки водой. Значит, столб воды производит большее давление, чем столб масла той же высоты, так как плотность воды больше плотности масла.

**Зависимость давления от высоты столба жидкости.** Возьмём пластиковую бутылку, наполним её водой и поставим на подъёмный столик. Продеваем в бутылке небольшое отверстие (рис. 177). Вода будет вытекать из бутылки с некоторой скоростью, которая тем больше, чем больше давление, производимое столбом жидкости высотой  $h$ . Ясно, что дальность  $L$  полёта струи зависит от скорости вытекания воды. Наблюдая за вытеканием воды, мы увидим, что через некоторое время дальность  $L$  полёта струи уменьшится.



39.4. Как объяснить, что дальность полёта струи воды с течением времени уменьшается?

Когда часть воды вытечет из бутылки, высота столба жидкости уменьшится, станет меньше и давление жидкости. По этой причине скорость вылета воды и дальность полёта струи уменьшатся.

Зависимость давления жидкости от высоты столба используется в приборе для измерения давления. Прибор имеет *U*-образную стеклянную трубку, наполненную жидкостью (рис. 178). С помощью резиновой трубки к прибору присоединяют круглую плоскую коробочку, одна сторона которой затянута тонкой резиновой плёнкой. Такой прибор называют **жидкостным манометром**. Манометры применяют для измерения давления жидкостей и газов.

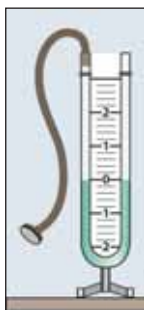


Рис. 178

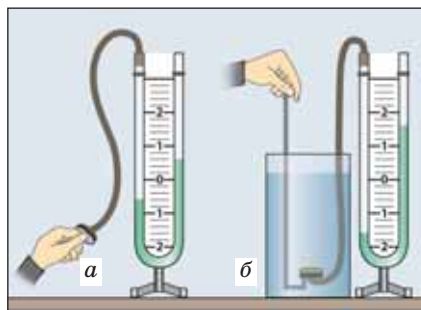


Рис. 179

Надавим на плёнку (рис. 179, *a*). Плёнка прогнётся, воздух в коробочке будет сжат и его давление увеличится. Под действием этого давления жидкость перемещается – опускается в одной части трубки (присоединённой к коробочке) и поднимается в другой. Столб жидкости поднимается до тех пор, пока его давление не уравновесит давление на плёнку.



39.5. Как изменится высота столба жидкости (рис. 179, *a*), если на плёнку подействовать с большей силой, создав большее давление?

Прибором – жидкостным манометром – можно измерять давление внутри жидкости. Расположим коробочку *горизонтально плёнкой вверх* и будем погружать коробочку в жидкость в сосуде (рис. 179, *б*). Чем глубже погружают коробочку, тем большее давление производит жидкость в сосуде на плёнку (почему?). Значит, больше будет и высота столба жидкости в манометре.



39.6. Будет ли прибор регистрировать<sup>1</sup> давление, производимое столбом жидкости в сосуде, если коробочку расположить вертикально?

<sup>1</sup> Регистрировать – отмечать, обнаруживать.

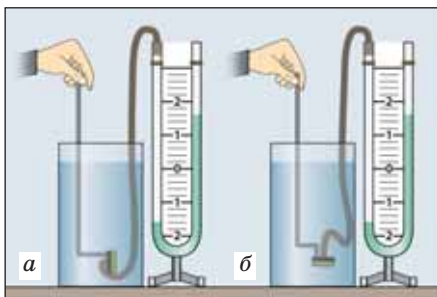


Рис. 180

Расположим коробочку прибора так, как показано на рисунке 180, а. Прибор и в этом случае регистрирует давление, производимое столбом жидкости в сосуде. Значит, **столб жидкости производит давление не только вниз, но и в стороны**. Не меняя глубины погружения, повернём коробочку прибора *плёнкой вниз*. Мы видим – прибор опять-таки регистрирует давление, производимое столбом жидкости (рис. 180, б). Значит, **столб жидкости производит давление не только вниз, но и вверх**. Этот результат в первый момент кажется странным и неожиданным. Но вспомним, что в соответствии с законом Паскаля давление, производимое на жидкость, передаётся жидкостью без изменения по всем направлениям. По этой причине **давление, производимое столбом жидкости, передаётся жидкостью по всем направлениям одинаково**.

**Давление столба жидкости,  $p = \rho gh$ , зависимость давления, производимого столбом жидкости, от плотности жидкости и высоты столба жидкости, жидкостный манометр.**

**39.1** ● Вычислите давление воды на дно глубочайшей морской впадины (Марианский жёлоб, в западной части Тихого океана), глубина которой 11 022 м.

**39.2** ● Какое наибольшее давление можно измерить жидкостным манометром (рис. 179, а), если высота U-образной трубки прибора 45 см? Трубка манометра наполнена водой.

**39.3** ● Две одинаковые мензурки наполнили доверху разными жидкостями – одну мензурку водой, а другую – машинным маслом. Какая из жидкостей производит большее давление на дно мензурки? Ответ обосновать.



**39.4.** Возьмите пластиковую бутылку и аккуратно удалите у неё дно. В качестве доньшка используйте металлическую крышку (для лучшего контакта со стенками бутылки положите на крышку бумажную салфетку). Опустите бутылку с «отпадающим» доньшком в сосуд с водой. Объясните, почему доньшко оказывается плотно прижатым к стенкам бутылки. Осторожно наливайте воду в бутылку и следите за доньшком. Почему доньшко отпадает от бутылки практически в тот момент, когда уровень воды в бутылке совпадает с уровнем воды в сосуде?



**39.5.** Используя установку, изображённую на рисунке 177, измерьте дальность  $L$  полёта струи при разных высотах  $h$  столба жидкости. По полученным данным постройте график зависимости дальности  $L$  полёта струи от высоты  $h$  столба жидкости. Обоснуйте полученный результат.

## § 40. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ



Смотри в корень.

*К. Прутков*

Вы уже знаете, как рассчитывается давление, производимое столбом жидкости.

Прежде чем приступать к анализу задач по теме «Давление жидкости», рассмотрите схему взаимосвязи физических величин (рис. 181) и прокомментируйте её.

**Задача 1.** До какой глубины погрузился глубоководный батискаф, если вода оказывает на его корпус давление 100 МПа?

*Дано:*

Батискаф  
 $p = 100 \text{ МПа}$   
 $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$

*СИ:*

100 000 000 Па

$h - ?$

*Решение:*

Для изучения морских глубин используют специальные аппараты – батискафы (рис. 182). Батискафы снабжены специальными двигателями и могут совершать путешествия на больших глубинах.

При погружении корпус батискафа подвергается давлению воды. Чем глубже погружается батискаф, тем больше давление, производимое водой (почему?).

По условию задачи давление воды на корпус батискафа составляет 100 МПа. Так как давление воды определяется её плотностью и высотой столба жидкости (глубиной погружения батискафа), то

$$p = \rho gh.$$

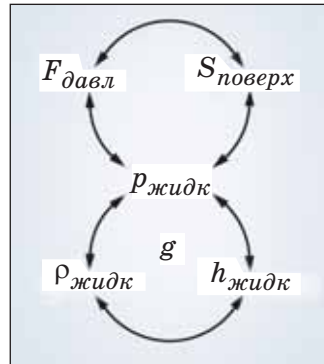


Рис. 181



Рис. 182

Отсюда

$$h = \frac{p}{\rho g}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ:  $h = 9,9$  км.

**Задача 2.** При высоте столба жидкости в 20 см давление жидкости на дно мензурки составляет 1,77 кПа. Какая жидкость налита в мензурку?

<i>Дано:</i> Жидкость в мензурке $h = 20$ см $p = 1,76$ кПа	<i>СИ:</i>  $0,2$ м $1760$ Па	<i>Решение:</i> Жидкость, налитая в мензурку, создаёт давление на дно мензурки. Это давление определяется высотой столба и плотностью жидкости. Зная давление и высоту столба жидкости, можно определить её плотность и тем самым установить, что это за жидкость.
Жидкость – ?		

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: неизвестная жидкость имеет плотность  $900$  кг/м<sup>3</sup>. Это может быть машинное масло или другая жидкость с такой плотностью.

**Задача 3.** В цистерне, заполненной бензином, сливной кран площадью  $30$  см<sup>2</sup> находится на расстоянии  $1,5$  м от верхнего уровня бензина. С какой силой бензин давит на кран?

<i>Дано:</i> Бензин в цистерне $\rho = 710$ кг/м <sup>3</sup> $s = 30$ см <sup>2</sup> $h = 1,5$ м	<i>СИ:</i>  $0,003$ м <sup>2</sup>	<i>Решение:</i> Бензин, заполняющий цистерну, производит давление на кран. Сила давления, действующая на кран, зависит от величины давления и площади крана. Площадь крана известна. Давление, производимое бензином, определяется высотой столба жидкости и её плотностью – эти величины также известны.
$F - ?$		

Итак,

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

Отсюда

$$F = ps.$$

Но

$$p = \rho gh,$$

тогда

$$F = \rho ghs.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ:  $F = 31$  Н.



**Задача 4.** Аквариум доверху наполнен водой. С какой силой давит вода на стенку аквариума длиной 60 см и высотой 40 см?

*Дано:*

Аквариум  
с водой  
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$   
 $a = 60 \text{ см}$   
 $h = 40 \text{ см}$

*СИ:*

0,6 м  
0,4 м

*Решение:*

На первый взгляд эта задача не отличается от предыдущей. Для расчёта силы давления необходимо знать величину давления и площадь поверхности стенки аквариума (рис. 183). Площадь стенки легко найти:

$$s = h a.$$

$F = ?$

Но какое же значение давления взять при расчёте силы – ведь давление меняется с глубиной! Значит, формула для вычисления силы давления, которую мы использовали в предыдущей задаче, для этого случая не применима.

Проведём подробный расчёт силы давления  $F$ . Рассмотрим узкую полоску стенки на глубине  $h_1$  (рис. 183). Пусть ширина выбранной полоски  $\Delta h_1$ . Знак  $\Delta$  указывает на то, что мы имеем дело с малой величиной. Запись  $\Delta h_1$  (читается: дельта аш один)

обозначает малую ширину полоски. Тогда площадь выбранной полоски равна

$$s_1 = \Delta h_1 a.$$

На этой узкой полоске давление жидкости  $p_1$  одно и то же (ведь высота одна и та же –  $h_1$ ). Значит, сила  $F_1$ , действующая на рассматриваемую полоску стенки, равна

$$F_1 = p_1 s_1.$$

или

$$F_1 = p_1 \Delta h_1 a.$$

Рассмотрим узкие полоски стенки на других глубинах –  $h_2, h_3, h_4$  и так далее. Силы, действующие на эти полоски, будут равны

$$F_2 = p_2 \Delta h_2 a,$$

$$F_3 = p_3 \Delta h_3 a,$$

$$F_4 = p_4 \Delta h_4 a$$

и так далее.



40.1. Как определяют равнодействующую силу, если силы направлены по одной прямой в одну сторону?

Для того чтобы провести расчёт равнодействующей силы  $F$ , необходимо сложить силы  $F_1, F_2, F_3, F_4$  и так далее:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + \dots,$$

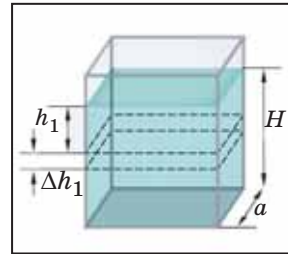


Рис. 183

или  $F = p_1 \Delta h_1 a + p_2 \Delta h_2 a + p_3 \Delta h_3 a + p_4 \Delta h_4 a + \dots$

$$F = (p_1 \Delta h_1 + p_2 \Delta h_2 + p_3 \Delta h_3 + p_4 \Delta h_4 + \dots) a. \quad (40.1)$$

Итак, мы видим, что для окончательного решения задачи и определения равнодействующей силы  $F$  необходимо найти значение суммы слагаемых в скобках в формуле (40.1).

Начертим график зависимости давления жидкости  $p$  от глубины  $h$ . По горизонтальной оси отложим глубину  $h$ , а по вертикальной – давление  $p$  (рис. 184). Графиком зависимости является прямая, проходящая через начало координат (обоснуйте это). Из рисунка 184 видно, что произведение  $p_1 \Delta h_1$  численно равно площади прямоугольника  $A_1 B_1 C_1 D_1$ , произведение  $p_2 \Delta h_2$  – площади прямоугольника  $A_2 B_2 C_2 D_2$  и так далее. Значит, значение суммы в скобках в формуле (40.1) будет численно равно общей площади  $s$  фигуры  $OAB$ , ограниченной графиком.

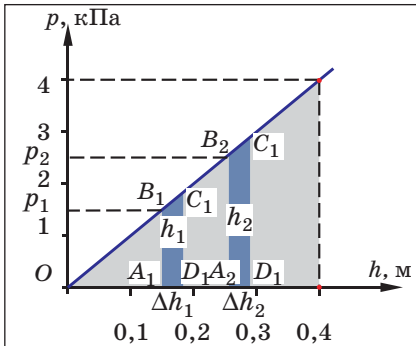


Рис. 184

$$s = \frac{OA \cdot AB}{2}.$$

Так как  $OA = h$ , а  $AB = \rho gh$ , то

$$s = \frac{\rho gh^2}{2}.$$

Подставим полученный результат в формулу (40.1):

$$F = \frac{\rho gh^2 a}{2}.$$

$$F = \frac{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot (0,4 \text{ м})^2 \cdot 0,6 \text{ м}}{2} = 470 \text{ Н.}$$

$$\frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (\text{м})^2 \text{ м} = \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ м}^3 = \text{Н.}$$

Ответ:  $F = 470 \text{ Н.}$

Обратите внимание на приём, использованный при решении этой задачи. Сложную задачу (определение равнодействующей силы  $F$ ) разделили на несколько простых (нахождение сил  $F_1, F_2, F_3, F_4$  и так далее). Решили каждую из простых задач, а затем нашли решение и всей сложной задачи.



**40.1** ● Погружаясь в море, аквалангист захватил с собой воздушный шарик. Давление воздуха в шарике составляло 100 кПа. На какую глубину погрузился аквалангист, если давление воздуха в шарике увеличилось до 250 кПа?

**40.2** ● Почему подъём водолазов после их работы на большой глубине производится не сразу, а постепенно, с остановками?

**40.3** ● Составьте задачу по теме «Давление жидкости». (Общие указания по составлению физической задачи приведены в задании 6.7.)

**40.4** ● Резиновый шарик соединили с вертикально расположенной стеклянной трубкой и наполнили их водой (рис. 185). После того, как на шарик поставили гирю массой 1 кг, высота столба воды в трубке поднялась на 32 см. Определите площадь соприкосновения гири с шариком.

**40.5** ● Металлический брусок размерами 10 × 6 × 4 см погружён вертикально в воду (рис. 186). Верхняя грань бруска находится на глубине 15 см. Определите силу давления воды на верхнюю и на нижнюю грани бруска. Какая из сил больше? Как направлены эти силы? Чему равна равнодействующая сила? Как направлена равнодействующая сила?



Рис. 185

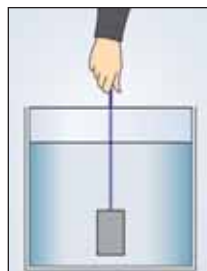


Рис. 186

## § 41. СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ



Возле моря колодец не выроешь.

*Турецкая пословица*

Вы уже знаете, от чего зависит давление, производимое столбом жидкости.

**Ошибка древних римлян.** Одним из самых крупных городов древности был Рим – столица Римской империи. Во времена расцвета империи (конец I – начало II веков нашей эры) население Рима насчитывало более миллиона человек. Для снабжения римлян водой было построено семь водоводов – акведуков. Самый короткий из них был протяжённостью 20 км, а самый длинный – 70 км.



Рис. 187

Акведуки представляли собой сложные по тем временам инженерные сооружения, проходившие по подземным туннелям, по земле и по мостам (рис. 187). Благодаря акведукам вода по трубам поступала в Рим самотёком, на всём пути двигаясь сверху вниз, под уклон. Римляне добились поразительного мастерства в строительстве акведуков (некоторые из них использовались ещё и в XX веке!). Но почему они строили акведуки? Разве нельзя было обойтись без них и проложить трубы водоводов непосредственно по земле? Вероятно, римляне опасались, что если трубы проложить, следуя рельефу местности, то на некоторых участках воде нужно будет течь вверх. Они предполагали, что вода вверх не потечёт. На рисунке 188 изображён макет римского водовода. Из верхнего «водохранилища» вода стекает вниз. Чтобы обеспечить равномерный уклон водовода, римские инженеры прорыли туннель в горе и построили мост.

Проверим, потечёт ли вода по водоводу, если проложить водовод непосредственно по земле, следуя рельефу местности (рис. 189). Древние римляне ошибались – вода может течь и снизу вверх (участки *AB* и *CD* на рисунке 189). И в этом нет ничего удивительного. Рассмотрим, например, воду, находящуюся в точке *A* (рис. 189). Слева на неё действует большее давление, чем справа ( $H > h$ ). Поэтому вода из точки *A* будет смещаться в направлении точки *B*, то есть подниматься вверх под действием большей силы давления. Следовательно, при лучшем знании законов физики древнеримские инженеры могли бы обойтись без строительства по крайней мере некоторых акведуков.

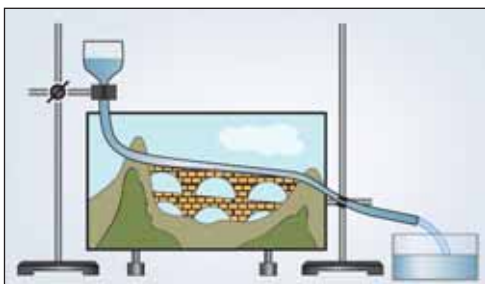


Рис. 188

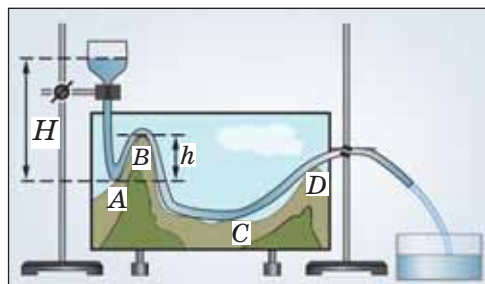


Рис. 189

**Сообщающиеся сосуды.** Договоримся называть сосуды, соединённые между собой в нижней части, *сообщающимися сосудами*. Например, из сообщающихся сосудов состоят чайник и лейка (рис. 190). Рассмотренный ранее макет водовода – также пример сообщающихся сосудов (рис. 188 и 189). Используя сообщающиеся сосуды, легко заметить, что движение жидкости прекращается тогда, когда уровни в сосудах одинаковы (рис. 191).

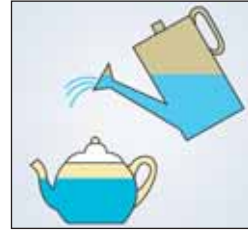


Рис. 190

Объясним этот опытный факт. Рассмотрим, к примеру, малый элемент жидкости  $C_1C_2$  (рис. 191). При каком условии жидкость будет неподвижна? Очевидно, что элемент жидкости неподвижен, если силы давления, действующие на него слева и справа, равны. Как определить силу давления  $F$ ?

$$F = ps,$$

где  $s$  – площадь, на которую оказывается давление  $p$ . Для малого слоя  $C_1C_2$  площади слева и справа одинаковы. Значит, силы будут равны только при одинаковых давлениях левого и правого столбов жидкости.

$$p_1 = p_2.$$

Когда давления, создаваемые левым и правым столбами жидкости, равны? Только если равны высоты левого и правого столбов жидкости (рис. 191).

$$h_1 = h_2.$$

Итак, в сообщающихся сосудах поверхности **неподвижной жидкости находятся на одном уровне**. При этом совершенно не важно, каковы формы сообщающихся сосудов, много или мало жидкости в них вмещается (рис. 192).

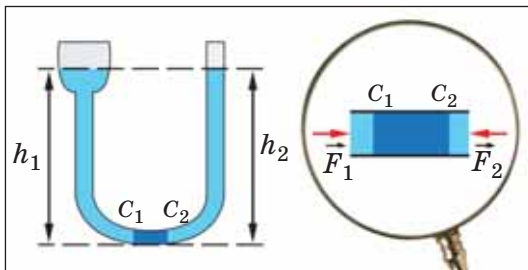


Рис. 191

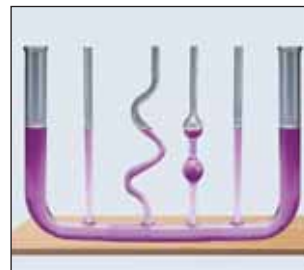


Рис. 192



«Нарушение» правила сообщающихся сосудов. Возьмём  $U$ -образную стеклянную трубку, наполним её водой (рис. 193, а). Уровень воды в левой и правой частях трубки будет одинаков. Теперь в левую часть трубки аккуратно добавим другую жидкость, например нефть. Мы видим, что если наполнить сообщающиеся сосуды разными жидкостями, то уровни этих жидкостей не будут одинаковы (рис. 193, б).

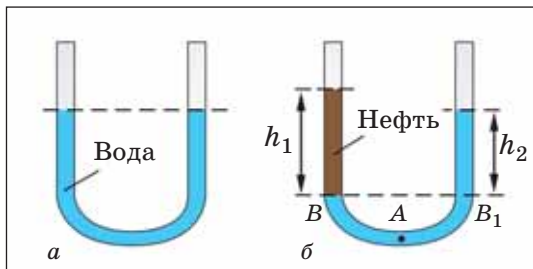


Рис. 193

Выясним, во сколько раз отличаются высоты столбов жидкостей, если сообщающиеся сосуды наполнены *разными* жидкостями. Проведём следующее рассуждение. Жидкость в точке А (рис. 193, б) находится в равновесии, если давления слева и справа равны. До уровня  $BB_1$  (рис. 193, б) сообщающиеся сосуды заполнены одинаковой жидкостью (в нашем примере это вода), и эти столбы жидкости создают равные давления. Давит ли на жидкость в точке А столб нефти высотой  $h_1$  и столб воды высотой  $h_2$  (рис. 193, б)? Да, в соответствии с законом Паскаля давление этих столбов жидкостей передаётся в точку А. Давление  $p_1$ , создаваемое столбом нефти, равно

$$p_1 = \rho_1 g h_1,$$

где  $\rho_1$  – плотность нефти.

Давление  $p_2$ , создаваемое столбом воды, равно

$$p_2 = \rho_2 g h_2,$$

где  $\rho_2$  – плотность воды.

Так как жидкость в точке А находится в равновесии, то эти давления равны:

$$p_1 = p_2.$$

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

или

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$



41.1. Проанализируйте, каково соотношение между высотами столбов жидкостей для случаев:

1)  $\rho_2 > \rho_1$ , 2)  $\rho_2 < \rho_1$ , 3)  $\rho_2 = \rho_1$ .

Акведук, **сообщающиеся сосуды**, уровни жидкости в сообщающихся сосудах в случае наполнения их разными жидкостями.

**41.1** ● На рисунке 194 изображена схема кипятильника: 1 – корпус кипятильника; 2 – водомерное стекло; 3 – краны; 4 – электроннагревательный элемент; 5 – кран для кипячёной воды. Объясните, каково назначение водомерного стекла и как действует этот прибор.

**41.2** ● На рисунке 195 изображена схема подземного бассейна артезианских вод. (Название происходит от названия французской провинции Артуа, где такие воды использовались с XII века.)

Образование артезианских вод связано с особыми условиями залегания водоносного слоя 1, заключённого между водонепроницаемыми слоями 2 и 3. Обычно водоносный слой залегает на глубине от 100 до 1000 м. Артезианский колодец 4 выводит из глубокого водоносного слоя самоизливающуюся воду. Объясните действие такого колодца.

**41.3** ● На рисунке 193, б изображены сообщающиеся сосуды U-образной трубки, заполненные нефтью и водой. Чему равна плотность нефти? (Подсказка. Высоту столба жидкости можно измерить непосредственно на рисунке.)



**41.4.** Одним из крупнейших фонтанных комплексов мира является Петродворец (Петергоф) (рис. 196).

Он был основан как парадная царская резиденция на берегу Финского залива Балтийского моря Петром I в 1714 году. Воздвигнутая в кратчайшие сроки резиденция являлась символом успехов России в борьбе за выход к Балтийскому морю. Для снабжения фонтанов построен водовод протяжённостью 22 км. Фонтаны Петергофа являются самотечными, т. е. для подачи воды не используются насосы. Объясните принцип действия таких фонтанов.

Сделайте модель фонтана.

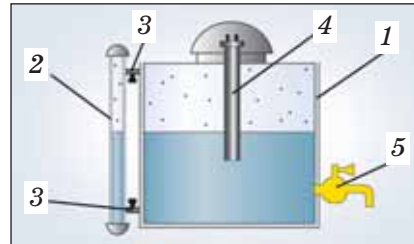


Рис. 194

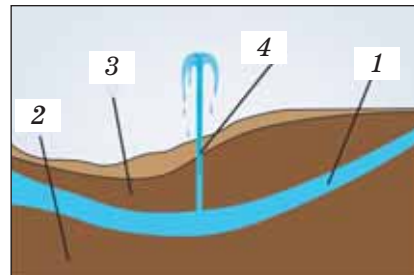


Рис. 195



Рис. 196. Большой каскад – главное сооружение грандиозной фонтанной системы Петергофа. 64 фонтана, 255 бронзовых скульптур, барельефов и других декоративных деталей ставят Большой каскад в ряд самых крупных фонтанных сооружений



Рис. 197



Рис. 198. Один из самых красивых шлюзов канала им. Москвы — шлюз № 3, который поднимает суда на 8 метров

зовую камеру I;  $C \rightarrow II$ ,  $B$  – переход судна из шлюзовой камеры II в верхнее течение реки).

Первоначально все ворота шлюза закрыты.

**41.5** ● В настоящее время многие крупные реки перекрыты плотинами гидроэлектростанций (ГЭС). Для осуществления судоходства на таких реках плотины снабжают шлюзами (рис. 197). Шлюз представляет собой камеру, ограждённую стенками и воротами. Для слива избытка воды из шлюза или наполнения шлюзовой камеры водой имеется задвижка.

Камеры крупных шлюзов достигают длины 400 м, их ширина 30–35 м, глубина 5–15 м. Есть и многокамерные шлюзы. На рисунке 198 приведён общий вид шлюза, а на рисунке 199 показана схема проводки судов (шлюзование).

Запишите алгоритм<sup>1</sup> осуществления проводки судов (шлюзования) вверх по течению реки. Используйте следующие условные обозначения:

- $Ш \uparrow$ ,  $Ш \downarrow$  – подъём или опускание задвижки шлюза (например,  $Ш_3 \uparrow$  – поднять (открыть) задвижку номер 3 шлюза);
- $В \downarrow$ ,  $В \uparrow$  – закрытие или открытие ворот шлюза (например,  $В_2 \uparrow$  – открыть ворота номер 2 шлюза);
- $C \rightarrow$  – движение судна (например:  $C \rightarrow H$ , I – переход судна из нижнего течения в шлюзовую камеру I;  $C \rightarrow II$ ,  $B$  – переход судна из шлюзовой камеры II в верхнее течение реки).

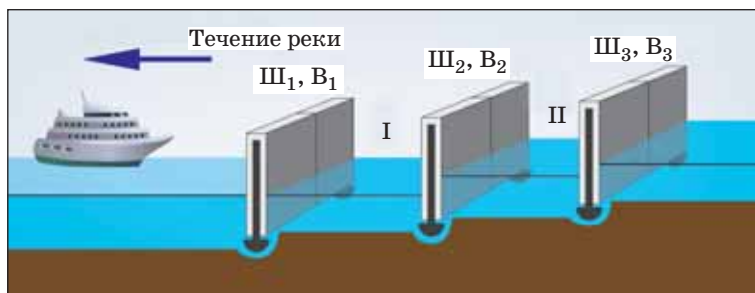


Рис. 199

<sup>1</sup> Алгоритм – система действий, применяемых по строго определённым правилам. После последовательного их выполнения приходят к решению поставленной задачи.



## § 42. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ



«Вы знаете... новость – на каждого гражданина давит столб воздуха в двести четырнадцать кило!.. Вы только подумайте!.. Давит круглые сутки...»

*Из романа русских писателей-сатириков  
И. Ильфа и Е. Петрова «Золотой телёнок», 1931*

Вам уже известен закон Паскаля. Вы знаете, что столб жидкости создаёт давление.

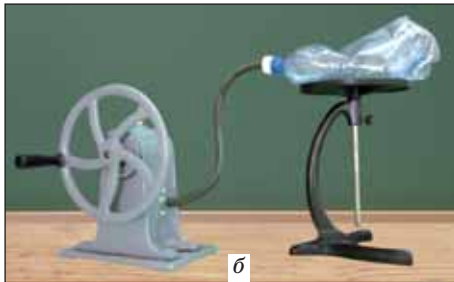
На пустую пластиковую бутылку поставим двухкилограммовую гирию – бутылка будет деформирована (рис. 200, а). Уберём гирию, придадим бутылке прежнюю форму. С помощью резинового шланга подсоединим бутылку к насосу и откачаем из неё воздух. Бутылка вновь будет деформирована (рис. 200, б).



42.1. Какая сила вызывает деформацию пластиковой бутылки (рис. 200)?



а



б

Рис. 200

Вы знаете, что наша планета Земля окружена воздушной оболочкой – атмосферой (рис. 201). Толщина атмосферы сотни километров (это установлено благодаря полётам космических аппаратов). Молекулы воздуха движутся непрерывно и беспорядочно. Почему же молекулы не улетают от Земли, почему наша планета сохраняет свою воздушную оболочку? На молекулы воздуха действует сила тяжести, и действие этой силы как раз и «привязывает» молекулы к Земле.

Но если Земля притягивает атмосферу, тогда её верхние слои действуют на нижние слои. В итоге огромный слой воздуха – атмосфера – подобно столбу жидкости создаёт давление. Давление, создаваемое воздушной





Рис. 201

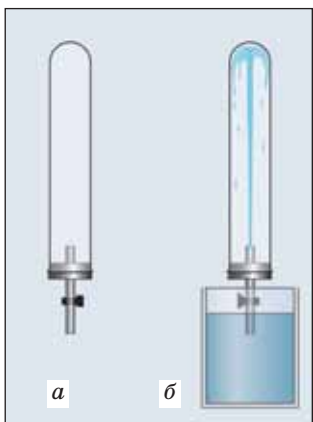


Рис. 202

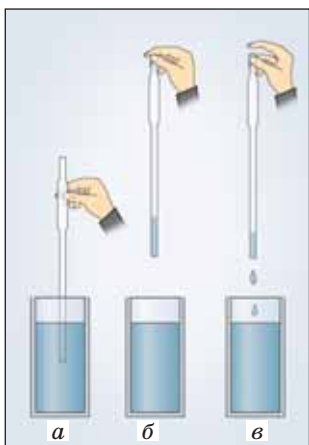


Рис. 203

оболочкой Земли, называют **атмосферным давлением**. Именно это давление вызвало деформацию пластиковой бутылки в опыте (рис. 200, б).



42.2. Почему деформация бутылки в опыте (рис. 200, б) происходит только после того, как из неё откачали воздух?

Существование атмосферного давления подтверждают многие интересные опыты. Из сосуда (рис. 202, а) откачаем воздух и перекроем кран. Затем погрузим сосуд в воду и откроем кран (рис. 202, б). При этом вода фонтаном хлынет внутрь сосуда. Как объяснить наблюдаемое явление? Первоначально давление воздуха в сосуде было равно атмосферному давлению. После того, как часть воздуха откачали, давление воздуха в сосуде уменьшилось. Атмосфера действует на поверхность жидкости, в соответствии с законом Паскаля это давление передаётся жидкостью. После того как был открыт кран, атмосфера вдавила воду в сосуд.

Возьмём стеклянную трубку, опустим её в стакан с водой (рис. 203, а). Затем закроем верхнее отверстие трубки пальцем и вынем трубку из стакана (рис. 203, б). При этом вода не будет вытекать из трубки. Почему? На столб воды в трубке действует (снизу вверх) атмосферное давление, и вода удерживается в трубке. Уберём палец, откроем верхнее отверстие трубки (рис. 203, в). В этом случае атмосфера действует на воду и через верхнее, и через нижнее отверстия. В итоге вода вытекает из трубки под действием силы тяжести.

Одним из самых ярких доказательств существования атмосферного давления является опыт, проведённый ещё в 1654 году Отто Герике в г. Магдебурге. Воздушным насосом он откачал воздух из полости между двумя



Рис. 204. Рисунок из книги Отто Герике «Новые магдебургские опыты о пустом пространстве»

металлическими полушариями, сложенными вместе. Давление атмосферы так сильно прижало полушария друг к другу, что их не могли разорвать восемь пар лошадей (рис. 204).

**Измерение атмосферного давления.** Измерение атмосферного давления впервые было произведено итальянским учёным Торричелли в 1643 году. Его знаменитый опыт заключался в следующем. Стекланную трубку длиной около одного метра, закрытую с одного конца, наполняют ртутью (рис. 205, а). Затем закрывают свободный конец трубки, трубку переворачивают свободным концом в чашку с ртутью и открывают (рис. 205, б). Часть ртути при этом вытекает в чашку, в верхней части трубки образуется безвоздушное пространство, пустота. Но вся ртуть из трубки не вытекает, в трубке остаётся столб жидкости высотой около 760 мм. Что удерживает жидкость в трубке? Почему ртуть не вытекает из трубки полностью? Ясно, что этому препятствует давление атмосферы. Следовательно, атмосфера создаёт такое же давление, как и столб ртути высотой около 760 мм.

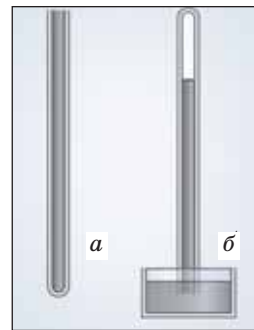


Рис. 205



42.3. Был бы опыт Торричелли удачным, если учёный использовал бы более короткую трубку с ртутью?

Рассчитаем атмосферное давление, используя результат опыта Торричелли.

$$p = \rho gh.$$

$$p = 13\,600 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 0,760 \text{ м.}$$

$$p = 101\,000 \text{ Н/м}^2.$$

$$p = 101 \text{ кПа.}$$

Итак, нормальное атмосферное давление равно 101 кПа. До настоящего времени по традиции атмосферное давление измеряют в миллиметрах ртутного столба<sup>1</sup>.

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Па.}$$

Наблюдения за высотой ртутного столба в трубке показали, что высота ртути меняется – в разные дни ртуть то опускается, то поднимается. Это значит, что атмосферное давление непостоянно, оно может уменьшаться и увеличиваться.



42.4. Как изменится уровень ртути в трубке Торричелли при увеличении атмосферного давления?

Торричелли также заметил, что изменения атмосферного давления связаны с переменной погоды; наблюдения за атмосферным давлением помогают составить прогноз погоды. Французский учёный Блэз Паскаль (автор знаменитого закона) предложил провести опыты по измерению атмосферного давления у подножия и на вершине горы. Было установлено, что атмосферное давление уменьшается с высотой. В местностях, лежащих на уровне моря, атмосферное давление в среднем равно 760 мм рт. ст. На высоте 1 км давление равно 674 мм рт. ст., а на высоте 5 км – 405 мм рт. ст. Вблизи поверхности Земли при небольших подъёмах атмосферное давление уменьшается на 1 мм рт. ст. через каждые 12 м подъёма.



42.5. От чего зависит давление, производимое столбом жидкости?

Давление жидкости, как вы знаете, зависит от плотности жидкости и высоты её столба. Но так как жидкость мало сжимаема, мы считаем её плотность на различных глубинах одинаковой. Иное дело для газов; газы сильно сжимаемы, их плотность может изменяться значительно. Поэтому давление атмосферы уменьшается с высотой по двум причинам: во-первых, становится меньше высота столба воздуха; во-вторых, уменьшается плотность воздуха.

**Барометр-анероид.** Использование стеклянной трубки, наполненной ртутью, для измерения атмосферного давления в повседневной жизни неудобно, да и опасно (пары ртути ядовиты!).

<sup>1</sup> По этой причине, как правило, говорят: «Атмосферное давление понизилось» или «Атмосферное давление повысилось», а не «Атмосферное давление уменьшилось» или «Атмосферное давление увеличилось».

По этой причине на практике измерение атмосферного давления производят с помощью прибора – барометра-анероида (рис. 206). Слово «анероид» в переводе с греческого означает безжидкостный, т. е. в самом названии прибора подчёркивается, что он не содержит ртути. Основная деталь такого прибора – закрытая металлическая коробочка 1 (рис. 207). Из коробочки выкачан воздух, а чтобы атмосферное давление не раздавило коробочку, её крышку оттягивает плоская упругая пластина 2, играющая роль пружины. К пластине через передаточный механизм 3 прикреплена стрелка 4. Стрелка, поворачиваясь, указывает по шкале величину атмосферного давления. Как же работает прибор? При увеличении атмосферного давления на крышку коробочки 1 действует большая сила, и крышка прогибается вниз. При этом стрелка 4, повернувшись, показывает по шкале соответствующее значение атмосферного давления. Если же атмосферное давление уменьшается, то на крышку коробочки 1 действует меньшая сила и упругая пластина 2 оттягивает крышку. При этом стрелка 4 поворачивается в другую сторону.



Рис. 206

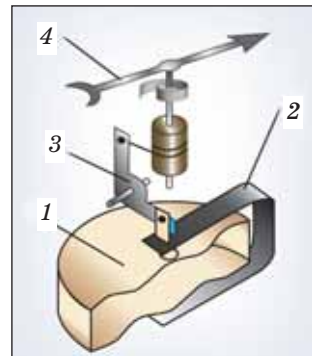


Рис. 207



42.6. С какой целью из коробочки барометра-анероида выкачан воздух? (Подсказка. Давление газа зависит от температуры.)

**Атмосферное давление**, опыт О. Герике, **измерение атмосферного давления (опыт Торричелли)**,  $1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Па}$ , изменение атмосферного давления с высотой, **барометр-анероид**.



**42.1.** Наполните стакан водой, закройте листом плотной бумаги и, придерживая лист ладонью, переверните стакан вверх дном. Уберите ладонь (рис. 208).

Почему вода не выливается из стакана? Ответ обосновать.



**42.2.** Пипетка – прибор для получения капель жидкости (рис. 209). Поработайте с пипеткой (наберите в неё воду, получите капли) и объясните её действие.



Рис. 208



Рис. 209

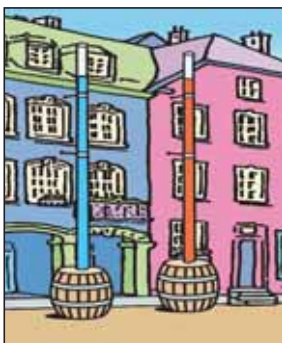


Рис. 210

**42.3** ● С какой силой атмосфера сжимала полушария в опыте Герике (рис. 204), если считать, что она действовала на площадь, равную  $1060 \text{ см}^2$ ? Почему в действительности сила, необходимая для разрыва полушарий, несколько меньше силы, рассчитанной вами в задаче?

**42.4** ● Предполагают, что Луна первоначально имела атмосферу, но постепенно потеряла её. Чем это можно объяснить?

**42.5** ● В 1646 году по заказу Паскаля изготовили два больших жидкостных барометра длиной более 12 м: в одном трубку наполнили водой, а в другом – вином (рис. 210). Уровень жидкости составил 31 фут для воды и 31 фут 8 дюймов для вина. Почему уровни жидкостей различны? Чему было равно атмосферное давление в день проведения опыта? (1 французский королевский фут = 12 дюйм = 0,325 м.)

### § 43. АРХИМЕДОВА СИЛА



Наша Таня громко плачет:  
Уронила в речку мячик.  
– Тише, Танечка, не плачь:  
Не утонет в речке мяч.

*Стихотворение А. Л. Барто (1906–1981),  
русской поэтессы*

Вам уже известно, как передаётся давление в жидкостях и газах.

**Действие жидкости на тело.** К пружине лабораторного динамометра прикрепим стограммовый груз (рис. 211, а).



43.1. С какими телами взаимодействует груз, прикрепленный к пружине динамометра?

Груз под действием силы тяжести опускается вниз, растягивая при этом пружину динамометра. При деформации пружины возникает сила упругости, равная по величине силе тяжести. (Почему?)

Поместим груз полностью в воду, не прикасаясь им к стенкам и дну сосуда с водой (рис. 211, б). После погружения груза в воду показание динамометра уменьшилось. Значит, в этом случае, для того чтобы уравновесить силу тяжести, требуется меньшая сила упругости. Но ведь сила тяжести не изменилась!



43.2. Что «помогает» силе упругости удерживать груз в равновесии?



Ответ на этот вопрос достаточно прост. После погружения в воду груз взаимодействует не только с Землёй (сила тяжести), пружиной динамометра (сила упругости), но ещё и с водой, т. е. на тело со стороны воды действует некоторая сила.

Вынем груз из воды. Динамометр покажет прежнее значение силы. Чтобы показание динамометра вновь уменьшилось, к грузу нужно приложить силу снизу вверх, например подействовать ладонью руки.

Следовательно, и сила, действующая на тело со стороны жидкости, тоже направлена снизу вверх. По этой причине силу, действующую со стороны жидкости на тело, называют **выталкивающей силой** или **архимедовой силой** в честь выдающегося древнегреческого учёного Архимеда. В сочинении «О плавающих телах» им был сформулирован закон, позволяющий определять величину выталкивающей силы.

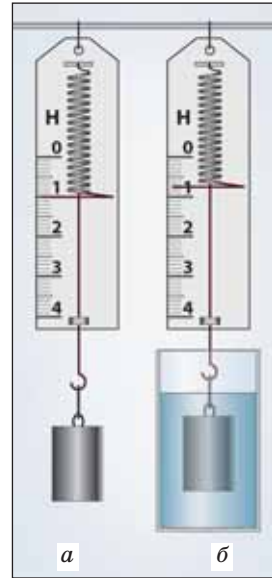


Рис. 211

**От чего зависит выталкивающая сила.** Для того чтобы выяснить, от чего зависит выталкивающая (архимедова) сила, выполним лабораторную работу.

### Лабораторная работа «Изучение выталкивающей силы»

**Оборудование:** динамометр лабораторный; сосуд с водой; сосуд с керосином (на столе учителя); стограммовые грузы; цилиндрические тела; кусок пластилина, «утяжелённый» металлическими гайками.

**Задание 1.** Измерьте выталкивающую силу, действующую

- 1) на стограммовый груз;
  - 2) на кусок пластилина
- при их полном погружении в воду.

**Задание 2.** Выясните, зависит ли выталкивающая сила:

- 1) от глубины погружения тела в жидкость;
- 2) от объёма погружённой в жидкость части тела;
- 3) от формы тела (используйте кусок пластилина);
- 4) от плотности жидкости, в которую погружено тело (одна жидкость – вода, другая жидкость – керосин);
- 5) от плотности тела, погружённого в жидкость.

Запишите результаты, полученные вами при выполнении каждого пункта заданий.

Выполнение лабораторной работы позволяет сделать вывод:

Выталкивающая сила зависит от плотности жидкости и от объёма погружённой в жидкость части тела.

Одновременно было выяснено, что выталкивающая сила не зависит от плотности тела, его формы и глубины, на которую погружено тело.

### Причина возникновения выталкивающей силы.



43.3. В чём заключается закон Паскаля?

43.4. От чего зависит давление, производимое столбом жидкости?

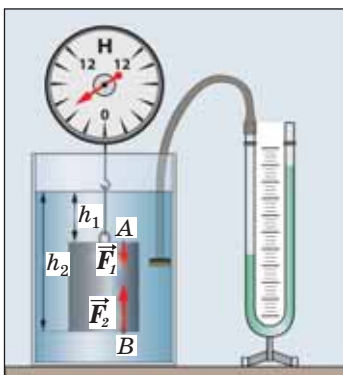


Рис. 212

Поместим тело в жидкость (рис. 212). Измерим давление, производимое жидкостью на верхнюю и нижнюю грани тела. Для измерения давления используем открытый жидкостный манометр с круглой коробкой, одна сторона которой затянута упругой резиновой плёнкой (смотрите § 39). Измерения показывают, что давление жидкости на глубине нижней грани больше, чем давление на глубине верхней грани. (Почему?)

Как будет передаваться давление, производимое столбом жидкости высотой  $h_1$ , например, в точке  $A$ ? В соответствии с законом Паскаля давление, производимое этим столбом жидкости, будет одинаковым образом передаваться по всем направлениям. По этой причине на верхнюю грань тела со стороны жидкости будет действовать сила  $F_1$ , направленная вниз.

Как будет передаваться давление, производимое столбом жидкости высотой  $h_2$ , например, в точке  $B$ ? В соответствии с законом Паскаля давление, производимое этим столбом жидкости, тоже будет передаваться по всем направлениям. По этой причине на нижнюю грань тела со стороны жидкости будет действовать сила  $F_2$ . Ясно, что сила  $F_2$  больше силы  $F_1$  (докажите это). И направлена сила  $F_2$  вверх!

Таким образом, жидкость действует на тело силами  $F_2$  и  $F_1$ . Эти силы направлены по одной прямой в противоположные стороны.



43.5. Как определить модуль равнодействующей силы  $F$ ?

Равнодействующая сила  $F$  будет равна разности сил  $F_2$  и  $F_1$ :

$$F = F_2 - F_1.$$



И так как сила  $F_2$  больше силы  $F_1$ , то равнодействующая сила  $F$  направлена вверх. По этой причине и возникает выталкивающая (архимедова) сила<sup>1</sup>.

**Выталкивающая (архимедова) сила, причина возникновения выталкивающей силы**, зависимость выталкивающей силы от плотности жидкости и объёма погружённой части тела.

**43.1** ● На груз, погружённый в воду, действует архимедова сила в 1,0 Н (рис. 213). Чему равна масса груза? (Подсказка. Учите показание динамометра на рисунке.)



**43.2.** Убедитесь в том, что хозяйственная капроновая крышка для банок легко всплывает в воде. Возьмите чайное блюдце (или небольшую тарелку), оберните её мокрой бумажной салфеткой и поставьте на дно кастрюли. (Так необходимо поступить, если дно кастрюли неровное и капроновую крышку не удастся плотно прижать к дну кастрюли.) Капроновую крышку плотно прижмите к блюдцу и наполните кастрюлю водой (рис. 214). Вы увидите, что достаточно долгое время крышка не всплывает (до тех пор, пока вода не просочится под крышку). Почему в этом случае на крышку не действует выталкивающая сила?



**43.3.** Используя стеклянный стакан, тёплую воду, поваренную соль и ломтик моркови, придумайте и осуществите опыты, которые бы доказывали, что архимедова сила, действующая на тело, погружённое в жидкость, зависит от плотности жидкости. Опишите проведённые опыты, обоснуйте их результаты. Почему в опытах удобнее использовать именно тёплую воду? Попробуйте также экспериментально обосновать зависимость архимедовой силы от объёма погружённой части тела.



**43.4.** Стеклянную бутылку частично наполните водой и опустите её в ванну или ведро с водой так, чтобы бутылка плавала в вертикальном положении. Заметьте, до какого уровня бутылка погрузилась в воду. Утяжелите бутылку, например, долив в неё воду. Как при этом меняется уровень погружения бутылки? Объясните наблюдаемые вами результаты.

**43.5** ● Действует ли выталкивающая сила на тело, погружённое в газ? Обоснуйте вашу точку зрения.

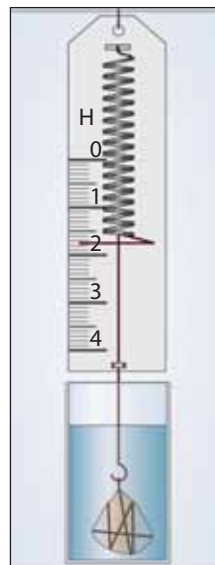


Рис. 213

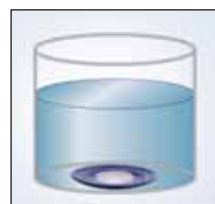
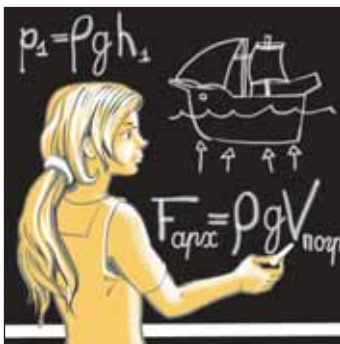


Рис. 214

<sup>1</sup> Силы, действующие на боковые грани тела, мы не рассматривали. Почему? Эти силы по величине равны, а значит, они уравновешивают друг друга и не создают выталкивающей силы.

## § 44. РАСЧЁТ АРХИМЕДОВОЙ СИЛЫ



Лучше всего продвигается естественное исследование, когда физическое завершается в математическом.

*Френсис Бэкон (1561–1626),  
английский философ*

Вы уже знаете, что на тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила. Величина силы зависит от плотности жидкости и объёма погружённой части тела.

**Вывод формулы архимедовой силы.** То, что нам известно о выталкивающей силе, мы пока знаем благодаря наблюдениям и опытам. Такой подход к изучению явлений называют экспериментальным методом. Применяют и другой метод изучения физических явлений – теоретический. Теоретический метод основывается на рассуждениях и расчётах. Результаты, полученные теоретическим методом, проверяют экспериментально. Именно опыт должен подтвердить или опровергнуть истинность теоретических выводов. Применим теоретический метод и выведем формулу для расчёта архимедовой силы.

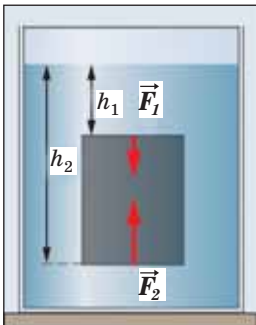


Рис. 215

Вспомним, почему возникает выталкивающая сила. Причина в том, что сила, с которой жидкость действует на нижнюю грань тела, больше силы, действующей на верхнюю грань (рис. 215).

Тогда для расчёта архимедовой силы необходимо:

1. Рассчитать давление жидкости  $p_1$  на верхнюю грань тела.
2. Рассчитать силу давления жидкости  $F_1$  на верхнюю грань тела.
3. Рассчитать давление жидкости  $p_2$  на нижнюю грань тела.
4. Рассчитать силу давления жидкости  $F_2$  на нижнюю грань тела.
5. Доказать, что только действие сил  $F_2$  и  $F_1$  на нижнюю и на верхнюю грани тела приводит к возникновению выталкивающей силы.
6. Получить итоговую формулу для расчёта архимедовой силы.
7. Сравнить результат, полученный теоретически, с экспериментальным результатом. Сделать вывод об истинности полученного теоретического результата.

Итак,

$$1. p_1 = \rho g h_1,$$

где  $\rho$  – плотность жидкости.

$$2. p_1 = \frac{F_1}{s},$$

где  $s$  – площадь грани.

Отсюда

$$F_1 = p_1 s,$$

или

$$F_1 = \rho g h_1 s.$$

$$3. p_2 = \rho g h_2.$$

$$4. p_2 = \frac{F_2}{s},$$

$$F_2 = \rho g h_2 s.$$

5. На все боковые грани тела жидкость оказывает одинаковые давления (обоснуйте), поэтому силы давления на боковые грани равны. Эти силы не вносят вклад в создание архимедовой силы.



44.1. Как находят равнодействующую силу для случая сил, направленных по одной прямой в противоположные стороны?

Следовательно, архимедова сила будет равна разности силы  $F_2$ , действующей на нижнюю грань тела, и силы  $F_1$ , действующей на верхнюю грань.

$$6. F_{арх} = F_2 - F_1,$$

$$F_{арх} = \rho g h_2 s - \rho g h_1 s,$$

$$F_{арх} = \rho g s (h_2 - h_1).$$

Но разность  $(h_2 - h_1)$  есть высота тела. Обозначим высоту тела как  $h$ :

$$h = (h_2 - h_1),$$

тогда

$$F_{арх} = \rho g s h.$$

Произведение  $sh$  есть объём погружённой в жидкость части тела.

Обозначим объём погружённой в жидкость части тела как  $V_{погр}$ , тогда

$$V_{погр} = sh.$$

Окончательно имеем

$$F_{арх} = \rho g V_{погр}.$$

7. Из формулы следует, что величина архимедовой силы зависит от плотности жидкости и объёма погружённой в жидкость части тела. Эти выводы согласуются с результатами проведённых нами наблюдений и опытов.

**Архимедова сила в газах.** Предположим, что закон Паскаля об одинаковой передаче давления в жидкостях по всем направлениям не выполняется. Возникла бы тогда выталкивающая сила? Конечно, нет. Ведь столб жидкости не действовал бы на нижнюю грань с силой снизу вверх. Выходит, выполнимость закона Паскаля – необходимое условие возникновения выталкивающей (архимедовой) силы. Но помимо жидкостей закон Паскаля выполняется и в газах. Значит, можно предположить, что если тело погружено в газ, то на него также действует архимедова сила. Подтвердим это опытами.

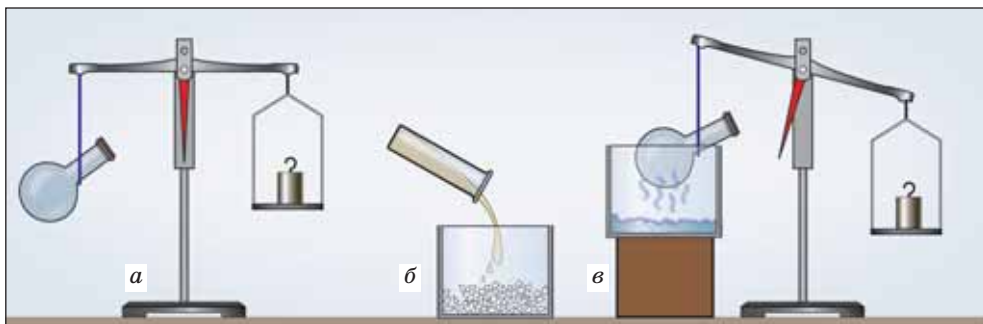


Рис. 216

К весам прикрепим стеклянный шар и уравновесим весы (рис. 216, *а*). В сосуд насыплем толчёный мел и зальём его соляной кислотой (рис. 216, *б*). В результате реакции образуется углекислый газ, который заполняет сосуд. Это можно проверить с помощью зажжённой длинной тонкой щепки, которая в сосуде, в атмосфере углекислого газа, гаснет. Поднесём сосуд с углекислым газом снизу к шару. Мы видим, что равновесие весов нарушается (рис. 216, *в*). Следовательно, на шар действует выталкивающая сила со стороны углекислого газа.

А если тело находится в воздухе, то будет ли на него действовать выталкивающая сила? Проверим это экспериментально. Закроем стеклянную колбу (или бутылку) плотной резиновой пробкой, в которую вставлен стеклянный тройник с кранами (рис. 217, *а*). На один кран (первоначально он закрыт) наденем резиновый шарик, а ко второму крану подсоединим насос. Накачаем воздух в колбу, затем закроем кран, отсоединим насос и поставим колбу на весы. Уравновесим весы (рис. 217, *б*). Аккуратно откроем кран, соединяющий колбу с резиновым шариком. Шарик раздуется, увеличится в объёме, и равновесие весов нарушится (рис. 217, *в*). Это свидетельствует о том, что со стороны воздуха на шарик действует выталкивающая сила, которая тем больше, чем больше объём шарика.

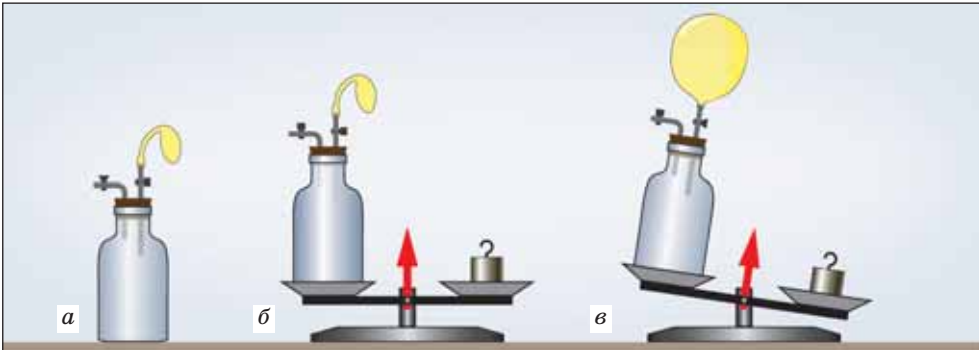


Рис. 217

Как рассчитать выталкивающую (архимедову) силу, действующую на тело, погружённое в газ? Проведя такие же теоретические рассуждения, как и при выводе формулы для расчёта архимедовой силы в жидкостях, мы получим

$$F_{арх} = \rho g V_{погр},$$

где  $\rho$  – плотность газа, в который погружено тело.

**Задача.** Вычислите, какая архимедова сила действует со стороны углекислого газа на шар (рис. 216, в). Объём шара  $1200 \text{ см}^3$ .

*Дано:*  
Шар в углекислом газе  
 $V = 1200 \text{ см}^3$

*СИ:*  
 $0,0012 \text{ м}^3$

*Решение:*  
Для вычисления архимедовой силы, действующей на шар, необходимо знать объём шара и плотность углекислого газа (данные из таблицы 4).

$F - ?$

$$F_{арх} = \rho g V_{погр}.$$

$$F_{арх} = 1,98 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,0012 \text{ м}^3.$$

$$F_{арх} = 0,023 \text{ Н}.$$

Действия с единицами измерений:

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

*Ответ:*  $F_{арх} = 0,023 \text{ Н}$ .

**Зависимость выталкивающей силы от плотности жидкости (газа) и объёма погружённой части тела,  $F_{арх} = \rho g V_{погр}$ , вывод формулы для расчёта выталкивающей силы.**

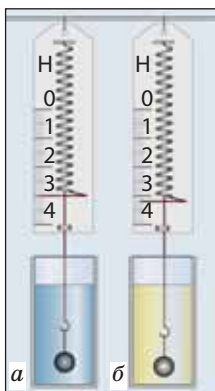


Рис. 218

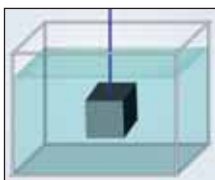


Рис. 220

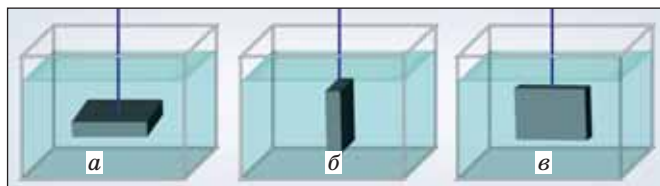


Рис. 219

**44.1** ● Стекланный шарик объёмом  $100 \text{ см}^3$  полностью погружён в керосин. Определите выталкивающую силу, действующую на шарик.

**44.2** ● Одинаковые (по массе и размеру) шарики прикрепили к динамометрам и опустили в сосуды с жидкостями – водой и маслом (рис. 218, а и б). Какой из сосудов наполнен маслом? Ответ поясните.

**44.3** ● Металлическую пластину можно подвесить на нити и расположить в воде различными способами, как показано на рисунке 219, а – в. Сравните выталкивающую силу, действующую на пластину, в этих трёх случаях.

**44.4** ● Ребро погружённого в воду куба имеет длину 3 см (рис. 220). Вычислите архимедову силу, действующую на куб.

**44.5** ● Камень объёмом  $150 \text{ см}^3$  прикреплён к пружине динамометра и полностью погружён в воду. Каково показание динамометра? Плотность камня  $2,7 \text{ г/см}^3$ .

## § 45. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ. ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ



Лодка тонет и от лишнего пёрышка.

*Японская пословица*

Вы уже знаете, что на тело, находящееся в жидкости или газе, действует выталкивающая (архимедова) сила.

**Условие плавания тел.** Бросим в сосуд с водой теннисный шарик и свинцовую дробинку.

Дробинка во много раз меньше шарика, но, несмотря на это, она утонет. Шарик же плавает на поверхности воды.



45.1. Почему одни тела тонут, а другие плавают?

Для ответа на этот вопрос вспомним, какие силы действуют на тело, находящееся в жидкости. На тело действуют сила тяжести  $F_{тяж}$  и выталкивающая сила  $F_{арх}$ .

Чему равны эти силы?

$$F_{тяж} = mg.$$



45.2. Как определить массу тела  $m$ , если известен его объём  $V$ ?

$$m = \rho V,$$

где  $\rho$  – плотность тела.

Тогда 
$$F_{тяж} = \rho V g. \quad (45.1)$$

Если тело полностью погружено в жидкость, то выталкивающая сила равна

$$F_{арх} = \rho_{жидк} g V, \quad (45.2)$$

где  $\rho_{жидк}$  – плотность жидкости, в которой находится тело.

Рассмотрим движение дробинки (рис. 221).

Дробинка тонет, следовательно, сила тяжести больше выталкивающей силы.

$$F_{тяж} > F_{арх}.$$

$$\rho g V > \rho_{жидк} g V,$$

т. е.

$$\rho > \rho_{жидк}.$$

**Значит, если плотность тела больше плотности жидкости, в которой оно находится, то тело тонет.**

Что происходит, если плотность тела меньше плотности жидкости (как в случае с теннисным шариком)?

$$\rho < \rho_{жидк}.$$

В этом случае, как следует из формул (45.1) и (45.2), сила тяжести меньше выталкивающей силы.

$$F_{тяж} < F_{арх}.$$

Шарик будет двигаться к поверхности жидкости (рис. 221). Достигнув поверхности, он продолжит всплытие, и часть шарика окажется вне жидкости. Это приведёт к уменьшению выталкивающей силы (ведь она зависит от объёма погружённой в жидкость части тела). В итоге шарик всплывает до тех пор, пока выталкивающая сила по величине не станет равной силе тяжести (рис. 222).

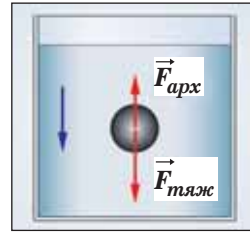


Рис. 221

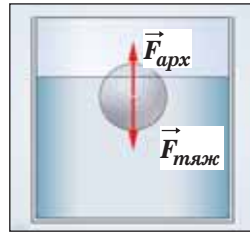
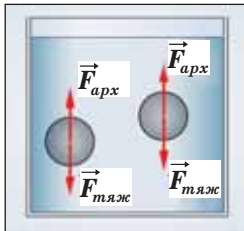


Рис. 222



Значит, если плотность тела меньше плотности жидкости, в которой оно находится, то тело плавает, частично погрузившись в жидкость.



В заключение выясним, что происходит, когда плотность тела и плотность жидкости равны.

$$\rho = \rho_{\text{жидк}}.$$

В этом случае, как следует из формул (45.1) и (45.2), сила тяжести равна выталкивающей силе, действующей на тело, полностью погружённое в жидкость (рис. 223).

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}}.$$

Рис. 223

Значит, если плотность тела равна плотности жидкости, в которой оно находится, то тело находится в равновесии, плавая внутри жидкости.

Один из лучших приборов для демонстрации условия плавания тел был изобретён французским учёным Декартом (1596–1650). Прибор называют «картезианским водолазом». Такой прибор можно изготовить, имея мензурку, пробирку и пробку со вставленной в неё стеклянной трубкой (рис. 224).

Пробирку-поплавок наполняют водой так, чтобы она плавала в мензурке пробкой вниз, почти полностью погрузившись в воду (рис. 224, а). При этом сила тяжести равна выталкивающей силе, действующей на пробирку-поплавок.

Плотно закроем мензурку резиновой плёнкой и надавим на плёнку. Воздух под плёнкой будет сжат, его давление увеличится. В соответствии с законом Паскаля увеличится и давление, производимое столбом жидкости на воздух в пробирке.

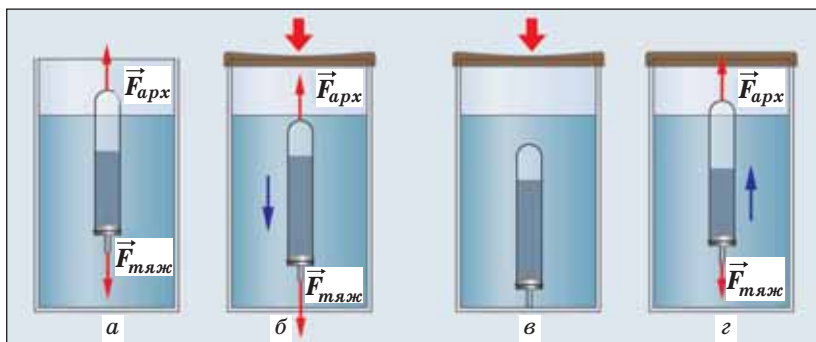


Рис. 224

Воздух в пробирке сожмётся, и пробирка дополнительно наполнится водой (рис. 224, б). Сила тяжести, действующая на пробирку-поплавок, возрастёт, и пробирка опустится на дно мензурки (рис. 224, в).

Что произойдёт, если прекратить давить на плёнку? В этом случае воздух в пробирке расширится, часть воды будет вытеснена из пробирки. Архимедова сила станет больше силы тяжести – «картезианский водолаз» всплывёт (рис. 224, г).



**Подводная техника.** За счёт увеличения или уменьшения массы «картезианского водолаза» можно добиться его погружения или всплытия.

Такой же принцип использован и в современных подводных аппаратах. На подводных лодках (рис. 225) имеются так называемые балластные цистерны. При погружении они заполняются водой; при этом сила тяжести, действующая на подводную лодку, превосходит выталкивающую силу, и лодка погружается. Для современных подводных лодок наибольшая допустимая глубина погружения составляет 250–300 м.

Для всплытия цистерны продувают сжатым воздухом, вытесняют воду, уменьшая тем самым массу подводной лодки. В тот момент, когда сила тяжести становится меньше архимедовой силы, подводная лодка всплывает.



45.3. Подводная лодка, опустившись на мягкий грунт (илистое дно), иногда с трудом отрывается от него. Как объясняется это «присасывание» лодки к грунту?

В конце 40-х годов XX века швейцарский учёный Огюст Пикар сконструировал и построил батискаф – аппарат для погружения на рекордные глубины (рис. 182). Он был сделан в виде металлического поплавка, заполненного бензином. К поплавку снизу подвешен шар из прочнейшей стали и ёмкости с балластом – стальной дробью. Дробь удерживается электромагнитами и может сбрасываться по мере надобности. Под водой батискаф приводят в движение электродвигатели. Если часть бензина выпустить из поплавка, наполнив его водой, то батискаф станет тяжелее и будет погружаться. Для подъёма наверх сбрасывают часть балласта.

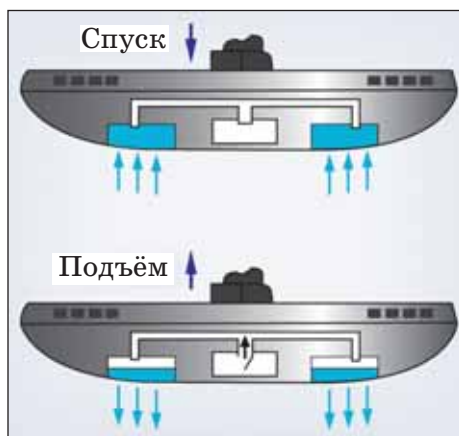


Рис. 225



45.4. Почему поплавки батискафа заполняют бензином? Почему его нельзя оставить заполненным воздухом?

Испытывая батискаф, О. Пикар сам принимал участие в погружениях (последний раз в возрасте 69 лет!). Было выяснено, что батискаф может опускаться на любую глубину. В январе 1960 года батискаф «Триест» достиг самой глубокой точки океана – дна Марианской впадины в Тихом океане.

**Плавание судов.** Изучение человеком Земли в своё время было невозможно без преодоления им водных преград, рек, совершения морских походов. Это требовало создания средств передвижения по воде (рис. 226–228). Все эти средства – от обломков деревьев, использовавшихся первобытным человеком, до пароходов и современных кораблей – удерживаются на воде благодаря известной вам причине!

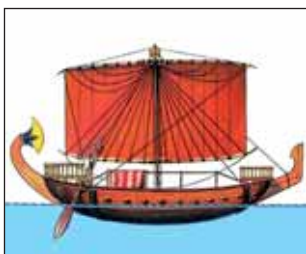


Рис. 226. Египетское судно, XXV в. до нашей эры



Рис. 227. Испанская каравелла, XV в.



Рис. 228. Атомный ледокол «Арктика» (Россия)

Когда судно находится на воде, то выталкивающая сила, действующая на погружённую часть корабля, равна силе тяжести судна. При загрузке судна сила тяжести увеличивается, и судно погружается до тех пор, пока архимедова сила вновь не уравновесит силу тяжести.

Глубину погружения судна в воду называют осадкой. Наибольшая допустимая осадка отмечена на корпусе судна ватерлинией (водной линией).

На борту судна близ ватерлинии наносят специальный знак, показывающий уровень предельных ватерлиний в различных случаях.

Например, изображённый на рисунке 229 знак означает уровень предельной ватерлинии:

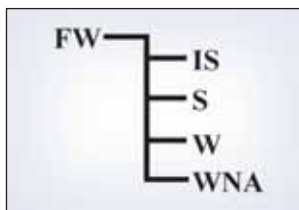


Рис. 229

в пресной воде (Fresh Water) .....FW  
 в Индийском океане (Indian Summer) ..... IS  
 в солёной воде летом (Summer) .....S  
 в солёной воде зимой (Winter) .....W  
 в Атлантическом океане зимой  
 (Winter North Atlantik) .....WNA



45.5. Почему наносится несколько ватерлиний?



Рис. 230. Так за 100 лет выросли размеры нефтеналивных судов. Супертанкер «Батиллус». 1976–1985 г. Франция. Длина – 414,2 м; ширина – 63 м; грузоподъёмность – 553 662 т; осадка – 28,6 м; скорость – 17 узлов (около 35,1 км/ч)

Начиная со второй половины XX века количество пассажиров морских судов уменьшилось – люди стали предпочитать самолёты. На океанских лайнерах теперь в основном совершают морские путешествия – круизы. Торговый же морской флот не теряет своего значения и в наше время. Уголь и нефть, машины и лес, фрукты и зерно доставляют с материка на материк грузовыми судами. Самые большие суда (танкеры<sup>1</sup> для перевозки нефти) имеют такие размеры, что их грузоподъёмность достигает 500 тысяч тонн (рис. 230).

**Воздухоплавание.** Началом эры воздухоплавания принято считать день 5 июня 1783 года. Тогда в небо поднялся воздушный шар братьев Монгольфье (рис. 231). В том же году был осуществлён и первый полёт людей на воздушном шаре. Наблюдая за облаками, братья-изобретатели пытались разгадать природу их движения. У них возникла идея создать с помощью пара «искусственное облако». Однако водяной пар слишком быстро превращался в капельки воды, которая пропитывала оболочку шара и утяжеляла её. Чем же можно заменить водяной пар? Монгольфье догадались использовать горячий воздух и дым, плотность которого меньше плотности атмосферного воздуха.



Рис. 231. Первый полёт монгольфьера

<sup>1</sup> От английского слова *tank* – цистерна.



45.6. Почему для осуществления подъёма воздушного шара его необходимо было заполнить именно горячим воздухом?

Какие ещё газы могут быть использованы для наполнения оболочки воздушного шара?

В настоящее время воздушные шары, наполняемые горячим воздухом, используют в основном в спортивных целях. Современные прочные газонепроницаемые материалы, газовые горелки для подогрева воздуха внутри шара позволяют спортсменам на воздушных шарах преодолевать значительные расстояния и даже совершать кругосветные путешествия.



Рис. 232. Запуск радиозонда на метеорологической станции

Воздушные шары, наполненные лёгкими газами (водородом или гелием), нашли применение в изучении атмосферы. Метеорологический шар-зонд представляет собой резиновую оболочку, наполненную водородом. К шару крепят на длинном шнуре приборы для измерения температуры, влажности, давления воздуха и радиопередатчик для передачи показаний приборов на Землю (рис. 232). Поднимаясь, зонд непрерывно передаёт сведения о состоянии атмосферы на разных высотах (до 40 км). Каждый год в мире с 800 зондирующих станций отправляется в полёт около 300 тысяч таких зондов.



Самый существенный недостаток простого воздушного шара заключается в том, что он летит туда, куда его гонит ветер. Поэтому усилия изобретателей были направлены на поиск средств управления воздушным шаром. Вначале пробовали использовать уже известные «рецепты»: паруса, рули, вёсла. Были и совершенно курьёзные решения – в 1801 году было предложено запрягать в воздушные шары дрессированных орлов. Только во второй половине XIX века был осуществлён полёт управляемого воздушного шара. Он получил название *дирижабля* (от французского *dirigeable* – управляемый).

В качестве двигателя на дирижабле использовали винт (в то время винты не применялись даже на судах, а самолёты были изобретены через полвека). Оболочка дирижабля приняла удлинённую форму (рис. 233). Стали строиться дирижабли-гиганты. Так, крупнейший дирижабль имел объём 200 000 м<sup>3</sup> (это объём тысячи школьных кабинетов), длину – почти четверть километра, диаметр – 41 м. Четыре его двигателя позволяли со скоростью 135 км/ч преодолевать до 15 000 км, перенося до 100 т полезного груза.



Рис. 233. Дирижабль «Виль де Пари». 1906 г.  
Франция



Рис. 234

Первоначально оболочки дирижаблей наполняли водородом. Однако после ряда катастроф в тридцатые годы XX века в дирижаблестроении наступает спад. И небо было завоёвано *самолётами* – летательными аппаратами тяжелее воздуха<sup>1</sup>.

В наши дни интерес к дирижаблям возрождается снова. Их экономичность, большая грузоподъёмность привлекают внимание специалистов. Сегодня дирижабли летают в небе крупнейших авиационных держав. Оболочки современных дирижаблей наполняют газом гелием (рис. 234). Это устранило опасность пожара – главный недостаток воздушных кораблей прошлого. Быть может, в XXI веке на дирижаблях вновь будут покорять Северный полюс, выполнять кругосветные перелёты, осуществлять межконтинентальные пассажирские и грузовые перевозки или организовывать туристические круизы.

**Условие плавания тел**, «картезианский водолаз», подводная лодка, батискаф, **плавание судов**, ватерлиния, **воздухоплавание**, воздушный шар, дирижабль.

**45.1** ● Кирпич тонет в воде, а деревянный брусок таких же размеров всплывает. Сравните выталкивающие силы, действующие на эти тела.

**45.2** ● Сосновый брусок длиной 10 см, шириной 5 см и высотой 4 см плавает в воде. Чему равна архимедова сила, действующая на брусок? Плотность сосны  $510 \text{ кг/м}^3$ .



**45.3.** Используя пластиковую бутылку, пробирку или флакон, изготовьте прибор «картезианский водолаз». Опишите, какие физические законы и закономерности можно продемонстрировать с помощью прибора.

<sup>1</sup> Вопрос о том, как возникает подъёмная сила, действующая на крыло самолёта, рассматривается в старших классах.





**45.4.** Составьте задачу по теме «Плавание тел. Воздухоплавание». (Общие указания по составлению физической задачи приведены в задании 6.7.)

**45.5** ● Спасаясь от злого волка, три поросёнка – Наф-Наф, Ниф-Ниф, Нуф-Нуф – забрались в корзину воздушного шара. Каков должен быть наименьший объём воздушного шара, чтобы он вместе с поросятами мог подняться вверх после того, как перерубят причальные канаты? Масса воздушного шара вместе с оборудованием, оболочкой и газом 105 кг. Масса поросят соответственно 60, 50 и 40 кг.

## § 46. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «АРХИМЕДОВА СИЛА»



Каждый школьник знаком теперь с истинами, за которые Архимед отдал бы жизнь.

*Ж. Э. Ренан (1823–1892), французский писатель*

Вам уже известна причина возникновения выталкивающей силы. Вам известна формула для расчёта архимедовой силы и условие плавания тел.

**Секрет решения задач.** При изучении темы «Архимедова сила» вы уже познакомились с самыми разнообразными задачами. Во-первых, это *расчётные задачи*. В таких задачах нужно определить неизвестную физическую величину, применяя как формулу для расчёта архимедовой силы, так и другие формулы, изученные ранее. Во-вторых, это *качественные задачи*. В них необходимо дать объяснение физической ситуации, описанной в условии задачи. В-третьих, это *экспериментальные задачи*. В этих задачах требуется, используя предоставленные вам приборы, провести измерения и определить ту или иную физическую величину.

При решении одних задач нужно правильно провести математические преобразования формул. При решении других необходимы логические рассуждения. При решении же третьих задач следует измерить физические величины с наименьшей погрешностью. Но есть нечто общее и самое важное при решении любой физической (да и не только физической!) задачи. Хотя это мы уже и обсуждали с вами на страницах учебника, но повторимся. В первую очередь **при решении требуется провести анализ задачи**.



То есть необходимо:

- уяснить, о каких физических явлениях идёт речь в задаче;
- от каких физических величин зависит ход данного явления;
- как величины связаны между собой.

И только после проведения анализа, когда вы полностью осознали физическую ситуацию, представленную в задаче, можно приступить к «технической стороне дела» – записи решения.

### Задачи по теме «Архимедова сила».

**Задача 1.** Если к динамометру прикрепить груз объёмом  $300 \text{ см}^3$ , то показания динамометров в воздухе составляют  $8,1 \text{ Н}$ , а при полном погружении груза в жидкость уменьшаются до  $5,1 \text{ Н}$ . Определите плотность жидкости, в которую погружён груз. Выталкивающую силу, действующую на тело со стороны воздуха, не учитывать. При расчётах считать  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

Дано:  
Груз  
 $V = 300 \text{ см}^3$   
 $F_1 = 8,1 \text{ Н}$   
 $F_2 = 5,1 \text{ Н}$   
-----  
 $\rho = ?$

СИ:  
 $0,0003 \text{ м}^3$

Решение:

Пусть груз находится в жидкости (рис. 235). На груз действует сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$ , выталкивающая сила  $F_{\text{арх}}$  и сила упругости со стороны динамометра  $F_2$ . Так как груз находится в равновесии, то

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} + F_2.$$

Величина выталкивающей силы, как вы знаете, зависит от плотности жидкости  $\rho$  и объёма погружённой части тела  $V_{\text{погр}}$ :

$$F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{погр}}.$$

Отсюда

$$\rho = \frac{F_{\text{арх}}}{g V_{\text{погр}}}.$$

Ясно, что

$$F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}} - F_2,$$

$$V_{\text{погр}} = V.$$

Если не учитывать выталкивающую силу, действующую на груз, находящийся в воздухе, то

$$F_{\text{тяж}} = F_1.$$

Тогда окончательно имеем

$$\rho = \frac{F_1 - F_2}{gV}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ:  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

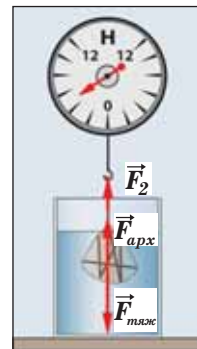


Рис. 235

**Задача 2.** Прямоугольная баржа длиной 6 м и шириной 3 м после загрузки осела на 50 см. Считая, что борта баржи вертикальны, определите массу принятого груза.

<b>Дано:</b>	<b>СИ:</b>
Баржа и груз	
$a = 6$ м	
$b = 3$ м	
$h = 50$ см	0,5 м
$m - ?$	

**Решение:**

При плавании баржи сила тяжести уравновешивается выталкивающей силой (рис. 236, а). После загрузки баржи сила тяжести, действующая на неё, увеличивается. Значит, для сохранения равновесия должна увеличиться и выталкивающая сила.

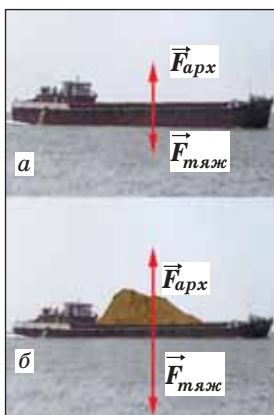


Рис. 236

Увеличение архимедовой силы возможно только благодаря увеличению объёма погружённой части баржи (рис. 236, б).

Из условия равновесия имеем

$$F_{тяж(добавочн)} = F_{арх(добавочн)}.$$

Или

$$m_{гр}g = \rho g V_{погр(добавочн)}.$$

Увеличение объёма погружённой части баржи равно

$$V_{погр(добавочн)} = abh.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

**Ответ:**  $m_{гр} = 9$  т.

**Задача 3.** Оболочка шара-радиозонда, наполненного гелием, имеет объём 4,0 м<sup>3</sup>. Определите массу приборов, которые сможет поднять шар. Масса оболочки шара 0,60 кг. Плотность воздуха 1,29 кг/м<sup>3</sup>, плотность гелия 0,18 кг/м<sup>3</sup>.

<b>Дано:</b>	<b>Решение:</b>
Шар-радиозонд	Шар-радиозонд оторвётся от Земли и начнёт полёт, если выталкивающая сила со стороны воздуха будет больше силы тяжести, действующей на шар (рис. 232).
$V = 4,0$ м <sup>3</sup>	
$m_{обол} = 0,60$ кг	
$\rho_{возд} = 1,29$ кг/м <sup>3</sup>	
$\rho_{гел} = 0,18$ кг/м <sup>3</sup>	
$m_{прибор} - ?$	

$$F_{арх} > F_{тяж}.$$

Архимедову силу легко рассчитать:

$$F_{арх} = \rho_{возд}gV.$$

Сила тяжести определяется массой тела:

$$F_{тяж} = mg.$$

Масса тела в данном случае – это масса приборов, масса оболочки и масса газа гелия, наполняющего оболочку.

$$m = m_{приб} + m_{обол} + m_{гел}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

**Ответ:** масса приборов должна быть не более 3,8 кг.



**Задача 4.** На рычаге-линейке закреплены две железные гири разной массы так, что рычаг находится в равновесии. Нарушится ли равновесие, если гири поместить в различные жидкости (например, воду и керосин)?

*Решение:*

Рассмотрим силы, действующие на рычаг (рис. 237). На левую сторону рычага действует сила со стороны гири:

$$F_1 = m_1g.$$

Плечо этой силы равно  $d_1$ .

На правую сторону рычага действует сила

$$F_2 = m_2g.$$

Плечо этой силы равно  $d_2$ .

Вспомним, что рычаг находится в равновесии, если равны произведения модуля силы на её плечо:

$$F_1d_1 = F_2d_2.$$

Следовательно,

$$m_1gd_1 = m_2gd_2,$$

$$m_1d_1 = m_2d_2.$$

При погружении в жидкость на гирю дополнительно действует выталкивающая сила. И это может привести к нарушению равновесия рычага. Вращающее действие выталкивающей силы определяется произведением модуля архимедовой силы  $F_{арх}$  на её плечо  $d$ :

$$F_{арх}d.$$

Выясним, от чего зависит значение произведения  $F_{арх}d$ .

$$F_{арх} = \rho gV,$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;

$V$  – объём гири (она полностью погружена в жидкость).

$$V = \frac{m}{\rho_{желез}},$$

где  $m$  – масса гири;

$\rho_{желез}$  – плотность железа.

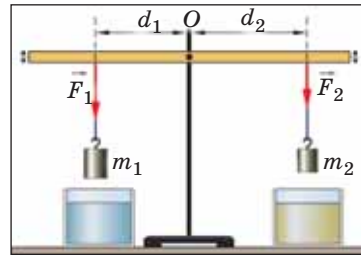


Рис. 237

Тогда выталкивающая сила равна

$$F_{арх} = \frac{\rho g m}{\rho_{жел}} .$$

Подставив полученное выражение в соотношение  $F_{арх}d$ , мы видим, что вращающее действие архимедовой силы определяется соотношением

$$\frac{\rho g m d}{\rho_{жел}} .$$



46.1. От каких физических величин в данном случае зависит вращающее действие архимедовой силы?

Первоначально рычаг находился в равновесии, значит,

$$m_1 d_1 = m_2 d_2 .$$

Выходит, в рассматриваемом случае вращающее действие архимедовой силы зависит только от плотности жидкости, в которую погружена гиря. Поэтому при погружении любой из гирь (и большой, и маленькой) в воду архимедовой силой создаётся большее вращающее действие, чем при погружении в керосин. Значит, равновесие рычага будет нарушено.



46.2. Как будет расположен рычаг после погружения гирь в жидкости?

**Задача 5.** Айсберги – огромные глыбы льда, оторвавшиеся от ледников и плавающие в океане. Рассчитайте, какая часть айсберга выступает над поверхностью воды.

Дано:

Айсберг

$$\rho_{вод} = 1030 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{лед} = 900 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{V_{выст}}{V} \text{ } - ?$$

Решение:

Айсберг плавает, следовательно, сила тяжести, действующая на него, уравнивается выталкивающей силой (рис. 238).

$$F_{тяж} = F_{арх} .$$



Рис. 238



46.3. Как определить силу тяжести, если известны объём тела и его плотность?

46.4. Как определить выталкивающую силу, если известен объём погружённой части тела?

Из равенства силы тяжести и архимедовой силы имеем

$$\rho_{лед} V g = \rho_{вод} g V_{погр} .$$

$$\text{Отсюда} \quad V_{погр} = \frac{\rho_{лед} V}{\rho_{вод}} .$$

Как определить объём той части айсберга, что находится над поверхностью воды?

$$V_{\text{выст}} = V - V_{\text{погр}}.$$

$$V_{\text{выст}} = V - \frac{\rho_{\text{лед}}}{\rho_{\text{вод}}} V.$$

$$V_{\text{выст}} = V \left( 1 - \frac{\rho_{\text{лед}}}{\rho_{\text{вод}}} \right).$$

Тогда

$$\frac{V_{\text{выст}}}{V} = 1 - \frac{\rho_{\text{лед}}}{\rho_{\text{вод}}}.$$

$$\frac{V_{\text{выст}}}{V} = 0,13.$$



46.5. Почему при плавании судов в полярных широтах значительную опасность для них представляют айсберги?

*Ответ:* из воды выступает только 13 % объёма айсберга.

**Задача 6.** Воздушный шар объёмом  $2000 \text{ м}^3$  заполняют горячим воздухом. Какова должна быть плотность горячего воздуха, чтобы шар смог взлететь? До какой температуры должен быть нагрет воздух в шаре? Масса оболочки шара, оборудования и пилота составляет  $200 \text{ кг}$ . Температура окружающего воздуха  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . График зависимости плотности воздуха от температуры при нормальном атмосферном давлении приведён на рисунке 239.

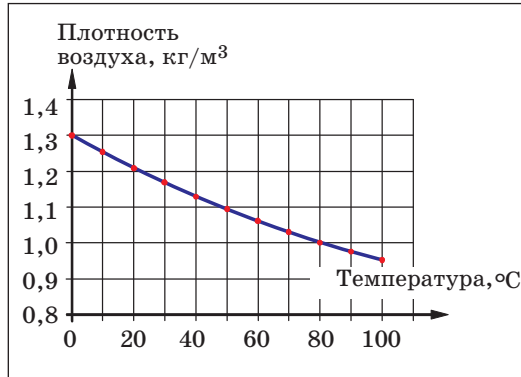


Рис. 239

*Дано:*

Воздушный шар

$$V = 2000 \text{ м}^3$$

$$m = 200 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{вх}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$$

(по графику)

$$\rho_{\text{гор.вх}} = ?$$

*Решение:*

Воздушный шар будет подниматься вверх, если выталкивающая сила больше силы тяжести. При равновесии эти силы равны.

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{вх}} g V.$$

$$F_{\text{тяж}} = (m + m_{\text{гор.вх}}) g,$$

где  $m_{\text{гор.вх}}$  — масса горячего воздуха в шаре.

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

*Ответ:*  $\rho_{\text{гор.вх}} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ . Если плотность горячего воздуха будет меньше, то шар взлетит. Такая плотность воздуха соответствует температуре (смотрите по графику)  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 7.** Имея сосуд с водой и динамометр, определите плотность камня. Камень имеет неправильную форму, но такие размеры, что полностью помещается в сосуд с водой.



46.6. Какие физические величины необходимо знать, чтобы рассчитать плотность вещества?

46.7. Как, используя динамометр, определить массу тела?

46.8. От чего зависит выталкивающая сила, действующая на камень, полностью погружённый в воду?

46.9. Как, используя динамометр, определить выталкивающую силу, действующую на тело, погружённое в жидкость?

46.10. Как определить объём камня?

46.11. Как определить плотность камня? Как оценить погрешность измерений?

**46.1** ● Для измерения плотности жидкости используют прибор ареометр (рис. 240). Он представляет собой закрытую стеклянную трубку со шкалой, внутри трубки находится небольшой груз (дробинки). Если ареометр опустить в жидкость, то прибор плавает в вертикальном положении, погружаясь в разных жидкостях на различную глубину. Каков принцип действия прибора? На рисунке 240 показано положение одного и того же ареометра в разных жидкостях – воде и керосине. В каком из сосудов находится керосин? Ответ обосновать.

**46.2** ● К одному плечу рычага подвешена гиря объёмом  $100 \text{ см}^3$ , а к другому плечу прикреплён динамометр (рис. 241). Пружина динамометра растянута, и рычаг находится в равновесии. На сколько изменится показание динамометра, если снизу поднести сосуд с водой так, чтобы гиря оказалась полностью погружённой в воду? Плечи рычага равны.

**46.3** ● Воздушный шар объёмом  $20 \text{ м}^3$  наполнен гелием. Определите силу натяжения троса, удерживающего воздушный шар. Масса оболочки шара  $3,0 \text{ кг}$ . Плотность воздуха  $1,29 \text{ кг/м}^3$ , плотность гелия  $0,18 \text{ кг/м}^3$ .

**46.4** ● На дне морского залива на месте крушения древнего корабля аквалангист обнаружил фарфоровую вазу массой  $4,6 \text{ кг}$ . Какую работу необходимо совершить, чтобы поднять вазу к поверхности воды (не вытаскивая её на воздух)? Глубина залива  $25 \text{ м}$ .

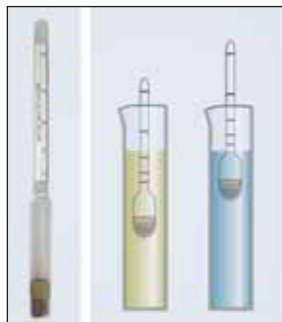


Рис. 240

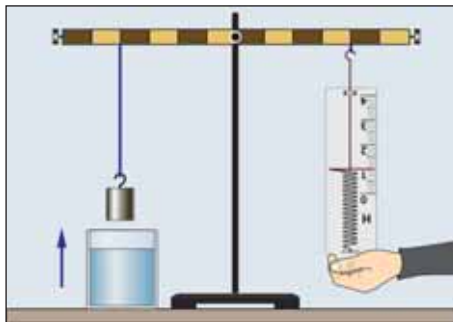


Рис. 241

**46.5** ● Опора моста представляет собой бетонную сваю объёмом  $6 \text{ м}^3$  прямоугольной формы. Сваля на одну треть углублена в дно реки, а оставшиеся две трети находятся в воде. Чему равна архимедова сила, действующая на сваю?

## Самое важное в разделе «Давление твёрдых тел, жидкостей и газов»

1. Давление показывает, какая сила приходится на единицу площади поверхности тела.

$$p = \frac{F_{\downarrow}}{s}, \text{ Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

2. Давление, создаваемое твёрдым телом, зависит от его массы и площади опоры.

3. Давление, создаваемое жидкостью, зависит от её плотности и высоты столба жидкости.

4. Газ производит давление благодаря бесчисленным столкновениям молекул газа со стенками баллона.

5. Столб воздуха создаёт давление. Обыкновенно вблизи поверхности Земли атмосферное давление  $100 \text{ кПа}$  ( $760 \text{ мм рт. ст.}$ )

6. Давление, производимое на жидкость или газ, передаётся по всем направлениям одинаково (закон Паскаля).

7. На тело, погружённое в жидкость или газ, действует выталкивающая сила

$$F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{погр}}.$$

Архимедова сила зависит от плотности жидкости (газа) и объёма погружённой части тела. Благодаря архимедовой силе плавают суда, летают воздушные шары.

**V.1** ● Каким образом (с научной точки зрения) удалось выявить девицу благородного происхождения в сказке Андерсена «Принцесса на горошине»?

**V.2** ● Находясь на некоторой глубине в море, аквалангист выпускает из рук теннисный шарик, и тот всплывает. Не наблюдается ли при этом нарушение закона сохранения энергии? Ведь у шарика одновременно увеличивается и кинетическая энергия (он движется, увеличивая скорость), и потенциальная энергия (увеличивается высота подъёма шарика). Ответ обосновать.



**V.3** ● Горячий чай налили в термос и тут же закрыли термос пробкой. Через некоторое время атмосфера вдавила пробку внутрь термоса. Почему? Определите, какая работа совершена при этом атмосферой, если площадь поперечного сечения пробки  $16 \text{ см}^2$  и пробка сместилась внутрь термоса на  $3 \text{ мм}$ .

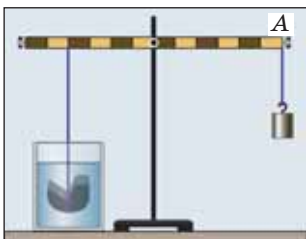


Рис. 242

**V.4** ● Алюминиевую деталь прикрепили к рычагу и опустили в сосуд с водой (рис. 242). Гирию какой массы необходимо прикрепить к противоположному плечу рычага (точка А), чтобы рычаг находился в равновесии? Объём детали  $300 \text{ см}^3$ . Массу рычага не учитывать.



**V.5.** Прodelайте следующий опыт. Утяжелите один конец спички кусочком пластилина так, чтобы спичка плавала вертикально в стакане с водой, почти полностью погрузившись в воду. Налейте в пластиковую бутылку воды примерно на две трети объёма, бросьте в воду спичку и закройте бутылку пробкой. При сильном нажатии на бутылку спичка утонет. Можно так подобрать давление, что спичка будет висеть посередине бутылки. Объясните результаты опыта. (Подсказка. Вспомните устройство прибора «картезианский водолаз».)

## P. S.



После изучения раздела «Давление твёрдых тел, жидкостей и газов» вы легко ответите на целый ряд важных вопросов:

- Что характеризует физическая величина «давление» и как её рассчитывать.
- Что такое атмосферное давление и как оно было измерено.
- В чём заключается закон Паскаля и как объяснить этот закон с точки зрения особенностей молекулярного строения жидкостей и газов.
- Как закон Паскаля объясняет возникновение выталкивающей силы при погружении тела в жидкость или газ.
- Каковы условия плавания судов и полёта воздушных шаров.

Несмотря на основательное изучение этих вопросов, многое ещё не обсуждалось. Например:

- Как рассчитать *давление, производимое телом* в тот момент, когда оно *убыстряет или замедляет своё движение* (к примеру, давление, производимое человеком при разгоне или торможении лифта).
- Каково *давление внутри движущейся жидкости*.
- Как рассчитать *давление газа, если известна его плотность и температура*.
- Как рассчитать *давление, производимое смесью газов*.

Ответы на эти и другие вопросы вы узнаете, изучая физику в старших классах.

## Заключение

И самая блестящая речь надоедает, если её затянуть.

*Блэз Паскаль (1623–1662),  
французский философ, писатель,  
математик и физик*

В курсе физики седьмого класса вами изучен ряд физических явлений, законов, величин. Вы изучили явление механического движения и явление всемирного тяготения, рассмотрели различные примеры явления превращения энергии. Вам уже известны такие физические законы, как закон всемирного тяготения и закон сохранения энергии. Эти законы имеют самую широкую область применения – они универсальны. Познакомились вы и с законом, который выполняется только в жидкостях и газах – законом Паскаля. Известны вам теперь и многие физические величины, характеризующие те или иные явления.

Оглядываясь на работу, сделанную за прошедший год, вы видите, что сделано немало. Но изученное вами – это, конечно же, только «вершина айсберга» физических знаний в океане науки.

Немало интересных вопросов предстоит изучить и в 8 классе. Вот некоторые из них:

– Тепловые явления. Вы узнаете о новом виде энергии и о том, какими способами эту энергию можно изменить. Узнаете, как рассчитывается энергия, выделяющаяся при сгорании топлива, и каково устройство различных тепловых двигателей. Вы изучите явления, происходящие в процессе превращения твёрдого вещества в жидкость, жидкости – в газ. С явлениями плавления, парообразования, кипения, как и с явлениями нагревания и охлаждения веществ, мы постоянно встречаемся в жизни.

– Электрические и магнитные явления. Среди них одно из наиболее важных – электрический ток. Вы научитесь проводить измерения силы тока и напряжения в различных электрических цепях. Узнаете, как возникает электрический ток в металлах, газах, жидкостях, полупроводниках и как он практически используется. Узнаете, где применяются электромагниты, как устроены электродвигатели, почему поворачивается стрелка компаса и почему возникают полярные сияния.

Перед тем как попрощаться с учебником физики 7 класса, советуем вам:

- Ещё раз в каждом разделе прочитать заключение – «Самое важное».
- Ещё раз прочитать эпиграфы к параграфам и дать им объяснение с физической точки зрения.
- Выполнить итоговые задания.

**Итоговое задание 1.** По плану ответа о физическом явлении подготовьте ответ:

- о явлении механического движения,
- о явлении всемирного тяготения,
- о явлении превращения энергии,
- о явлении диффузии.

**Итоговое задание 2.** По плану ответа о физическом законе подготовьте ответ:

- о законе всемирного тяготения,
- о законе сохранения энергии,
- о законе Паскаля.

**Итоговое задание 3.** По плану ответа о физической величине подготовьте ответ о величинах, указанных в таблице на заднем форзаце учебника.

**Итоговое задание 4.** По плану ответа об опыте подготовьте ответ:

- об опыте Торричелли;
- об опыте Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.

**Итоговое задание 5.** По плану ответа о физическом приборе подготовьте ответ:

- о мензурке,
- о динамометре,
- о барометре-анероиде.

**Спасибо за работу!  
До встречи в восьмом классе**

## Предметно-именной указатель

### А

Айсберг 226  
Акведук 195  
Алгоритм 200  
Альфа-частица 137  
Анализ 176  
Ареометр 228  
*Аристотель* 9  
Артезианский колодец 199  
*Архимед* 117  
Архимедова сила 207, 210  
Астероид 59  
Астрономическая единица 14  
Атмосфера 201  
Атмосферное давление 202  
Атом 127, 136  
Атомная электростанция 141

### Б

Барометр-анероид 205  
Батискаф 191, 217  
Блок неподвижный 108  
- подвижный 108  
Броуновское движение 145

### В

Ватт 97  
Вектор 29  
Величина векторная 29  
- физическая 12, 13  
Весы 45  
Вещество 10, 127  
Взаимодействие 39  
Взвешивание 45  
Воздухоплавание 219  
Всемирное тяготение 56  
Выталкивающая (архимедова)  
сила 207, 210

### Г

Газообразное состояние  
вещества 148  
Галактика 60  
*Галилей Г.* 24  
*Герике* (опыт) 202  
Гидравлический пресс 184, 186  
Гипотеза 129  
Градуировка прибора 63  
*Гук Р.* 55

### Д

Давление 171  
- газа 178  
- жидкости 187  
- нормальное атмосферное 204  
Движение механическое 23  
- - неравномерное 27  
- - равномерное 27  
- тепловое 145  
Деление урана 141  
Деформация 53  
*Джоуль Д. П.* 84  
Джоуль (единица измерения) 84  
Динамометр 51  
Дирижабль 220  
Диффузия 144

### Е

Единица измерения 13

### Ж

Жидкое состояние вещества 149

### З

Задача (в физике) 30  
Закон всемирного тяготения 56  
- Гука 55  
- науки 56  
- Паскаля 184  
- сохранения энергии 87  
- природы 56  
Заряд электрический 133, 135  
«Золотое правило» механики 109

**И**

Измерительный прибор 14  
Инертность 40, 41

**К**

«Картезианский водолаз» 216  
Килограмм 43  
Комета 59  
Комментарий 131  
Коэффициент полезного действия 121  
Кристалл 151

**Л**

*Лукреций Кар* 128, 144

**М**

Манометр жидкостный 189  
- металлический 180  
Масса тела 42  
Международная система единиц физических величин 32  
Мензурка 14  
Метеор 59  
Метеорит 59  
Милликена опыт 135  
Молекула 127, 130  
Мощность механическая 96

**Н**

Наблюдение 10  
Наклонная плоскость 108  
Нейтрон 139  
Ньютон  
(единица измерения) 51  
*Ньютон И.* 51

**О**

Опыт 10  
- Резерфорда 137  
- Торричелли 203  
Относительная погрешность измерения 18

Относительность

механического движения 24  
Оценка (в физике) 26

**П**

*Паскаль Б.* 172  
Паскаль (единица измерения) 172  
Плавание тел 214–216, 218  
Планеты-гиганты 58  
Планеты земной группы 58  
Плечо силы 115  
Плотность вещества 154  
Погрешность измерения 15, 16  
Подводная лодка 217  
Подшипник 68  
Превращение энергии 86  
Пределы измерения 15  
Приборы измерительные 14  
Простые механизмы 106  
Протон 139  
Путь 25

**Р**

Работа механическая 89, 90  
Равнодействующая сила 74  
*Резерфорд Э.* 138  
Рычаг 106, 107

**С**

Световой год 34  
Сила 49  
- всемирного тяготения 56  
- трения покоя 70  
- - скольжения 65–67  
- тяжести 50, 61  
- упругости 50, 53  
- электрическая 133  
Скаляр 28  
Скорость 27  
Солнечная система 58  
Сообщающиеся сосуды 197

**Т**

Твёрдое состояние вещества 150, 151  
Тело (в физике) 10  
Температура 145, 146  
Теория 11  
Тепловые явления 146  
Термин (научный) 12, 25  
Тормозная система 184  
Траектория 25

**У**

*Уатт Дж.* 97  
Условие равновесия рычага 116

**Ф**

*Фалес Милетский* 9  
Физика 9

**Х**

Химия 131

**Ц**

Цена деления прибора 15

**Ш**

Шкала прибора 15  
Шлюз 200

**Э**

Эксперимент 10  
Электрометр 136  
Электрон 134  
Энергия кинетическая 81  
- механическая 83  
- потенциальная 82  
Эталон 43

**Я**

Явление физическое 10  
Ядро атома 138

## Ответы к заданиям

6.1. 5 м/с; 18 км/ч. 6.2. 68 км. 6.3. 50 мин. 6.5. 27 км/ч; нарушения правил нет. 6.6. Конец минутной стрелки; в 60 раз. 6.8. 67 км/ч. 6.9. 120 км. 6.10. 0,8 м/с. 8.5. 140 кг. 9.5. 27 г. 10.5. На второй автомобиль; в 1,5 раза. 12.1. 470 Н. 12.2. 6 Н. 12.3. 0,4 кг. 12.4. 3,8 Н/кг. 13.1. 14 кН. 13.2. 3,4 Н. 13.3. Цена деления динамометра 1 Н; 4 кг. 14.2. 120 Н. 16.1. 5 мН. 16.2. 800 Н. 16.3. 18 кН. 16.4. 20 Н; 70 Н. 18.3. 15 Дж. 18.4. 4,5 Дж. 19.2. 8 Дж. 19.4. 1,2 МДж. 20.2. 17 000 МДж. 20.3. 30 с. 21.3. 800 Н. 21.4. 300 Дж. 22.3. 1кДж. 22.4. 5,9 кДж. 22.5. 1 МДж. 23.1. 150 Н; выигрыш в силе в 4 раза. 23.2. На 12 м; 40 кг. 23.3. 0,6 кВт. 23.4. 3,1 м. 23.5. Не выполняется. 24.1. Рычаг находится в равновесии. 24.2. Диск вращается по часовой стрелке. 24.4. 200 г. 25.2. 45 %; 1100 Дж; 300 Н. 25.3. 80 %. 25.4. 70 %. 32.4. Чугун. 33.2. 7,5 кг/м<sup>3</sup>. 33.3. 4 кг. 33.4. Серебро. 33.5. До деления 163 см<sup>3</sup>. 34.2. 8,0 г/см<sup>3</sup>. 34.3. 2,7 г/см<sup>3</sup>. 34.4. 3,5 Н. 34.5. 71 кДж. 35.3. 1500 МПа. 36.2. 6 МПа. 36.4. 130 кПа. 36.6. Банка с медом; в 1,3 раза. 36.7. 220 Па. 36.9. 3,1 кПа; в 1,2 раза. 36.10. 400 МПа. 37.1. 23 кН. 37.4. 210 кПа. 37.5. 500 Дж. 38.5. В 24 раза; максимальный выигрыш в силе в 35 раз. 39.1. 110 МПа. 39.2. 4,4 кПа. 40.1. 15 м. 40.4. 31 см<sup>2</sup>. 40.5. 3,5 Н; 5,9 Н; 2,4 Н; направлена вертикально вверх. 41.4. 0,8 г/см<sup>3</sup>. 42.3. 10,7 кН. 42.5. 98,7 кПа. 43.1. 280 г. 44.1. 0,78 Н. 44.4. 0,3 Н. 44.5. 2,5 Н. 45.2. 1 Н. 45.5. 200 м<sup>3</sup>. 46.2. Уменьшится на 1 Н. 46.3. 190 Н. 46.4. 640 Дж. 46.5. 0 Н. V.3. 0,5 Дж. V.4. 340 г.



## Оглавление

<b>Обращение к ученику</b> .....	3
<b>Раздел 1. Введение в физику</b> .....	7
§ 1. Что изучает физика.....	8
§ 2. Физические величины и их измерения.....	12
§ 3. Практическая работа «Измерительные приборы. Проведение измерений».....	17
Самое важное в разделе «Введение в физику».....	19
P. S. ....	20
<b>Раздел 2. Механическое движение. Силы в природе</b> .....	21
§ 4. Механическое движение. Относительность движения.....	23
§ 5. Скорость .....	26
§ 6. Физические задачи. Расчёт скорости, пути и времени равномерного движения.....	30
§ 7. Взаимодействие тел. Инертность.....	39
§ 8. Масса тела. Измерение массы.....	42
§ 9. Практическая работа «Измерение массы тел взвешиванием»..	47
§ 10. Сила.....	48
§ 11. Сила упругости. Лабораторная работа «Изучение зависимости силы упругости от величины деформации тела»..	52
§ 12. Сила всемирного тяготения. Лабораторная работа «Изучение зависимости силы тяжести, действующей на тело, от массы тела».....	56
§ 13. Практическая работа «Изготовление динамометра и проведение измерений».....	63
§ 14. Сила трения скольжения. Лабораторная работа «Изучение силы трения скольжения».....	65
§ 15. Сила трения покоя. Лабораторная работа «Изучение силы трения покоя».....	70
§ 16. Сложение сил, направленных по одной прямой.....	73
Самое важное в разделе «Механическое движение. Силы в природе».....	77
P. S. ....	78

<b>Раздел 3. Энергия. Работа. Мощность</b> .....	79
§ 17. Энергия.....	80
§ 18. Закон сохранения энергии.....	85
§ 19. Механическая работа.....	89
§ 20. Мощность.....	95
§ 21. Решение задач по теме «Энергия. Работа. Мощность».....	99
§ 22. Простые механизмы. «Золотое правило» механики.....	105
§ 23. Лабораторная работа по проверке «золотого правила» механики.....	111
§ 24. Лабораторная работа «Изучение условия равновесия рычага».....	114
§ 25. Коэффициент полезного действия. Лабораторная работа «Определение КПД наклонной плоскости».....	119
Самое важное в разделе «Энергия. Работа. Мощность».....	124
P. S. ....	125
<b>Раздел 4. Внутреннее строение вещества</b> .....	126
§ 26. Строение вещества. Атомы и молекулы.....	127
§ 27. Электрические силы. Электрон.....	132
§ 28. Строение атома.....	136
§ 29. Ядро атома.....	139
§ 30. Движение молекул. Диффузия. Температура.....	142
§ 31. Три состояния вещества. Особенности теплового движения частиц в газах, жидкостях и твёрдых телах.....	147
§ 32. Плотность вещества.....	152
§ 33. Решение задач по теме «Плотность вещества».....	157
§ 34. Лабораторная работа «Определение плотности вещества»....	164
Самое важное в разделе «Внутреннее строение вещества».....	167
P. S. ....	168
<b>Раздел 5. Давление твёрдых тел, жидкостей и газов</b> .....	169
§ 35. Давление.....	170
§ 36. Решение задач на расчёт давления.....	173
§ 37. Давление газа.....	178
§ 38. Закон Паскаля.....	182
§ 39. Давление жидкости.....	187
§ 40. Решение задач на расчёт давления жидкости.....	191
§ 41. Сообщающиеся сосуды.....	195

§ 42. Атмосферное давление.....	201
§ 43. Архимедова сила.....	206
§ 44. Расчёт архимедовой силы.....	210
§ 45. Плавание тел. Воздухоплавание.....	214
§ 46. Решение задач по теме «Архимедова сила».....	222
Самое важное в разделе	
«Давление твёрдых тел, жидкостей и газов».....	229
P. S. ....	230
<b>Заключение.....</b>	<b>231</b>
<b>Предметно-именной указатель.....</b>	<b>233</b>
<b>Ответы к заданиям .....</b>	<b>236</b>

**Андрюшечкин** Сергей Михайлович

**ФИЗИКА**

7 класс

Обобщённые планы построения ответов предложены академиком РАО А.В. Усовой

Автор выражает признательность за помощь в подготовке учебника  
*О.Я. Евдокимовой, К.А. Лоушко, И.Г. Кузнецовой*

Концепция оформления и художественное редактирование – *Е.Д. Ковалевская*

Подписано в печать 17.03.15. Формат 70 × 90/16.  
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Журнальная.  
Объём 15 п.л. Тираж 0 000 экз. Заказ №

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2; 953005 – литература учебная

Издательство «Баласс»  
109147 Москва, Марксистская ул., д. 5, стр. 1  
Почтовый адрес: 111123 Москва, а/я 2, «Баласс»  
Телефоны для справок: (495) 672-23-12, 672-23-34, 368-70-54  
<http://www.school2100.ru> E-mail: [izd@balass.su](mailto:izd@balass.su)

Отпечатано в филиале «Смоленский полиграфический комбинат»  
ОАО «Издательство “Высшая школа”»  
214020 Смоленск, ул. Смольянинова, 1