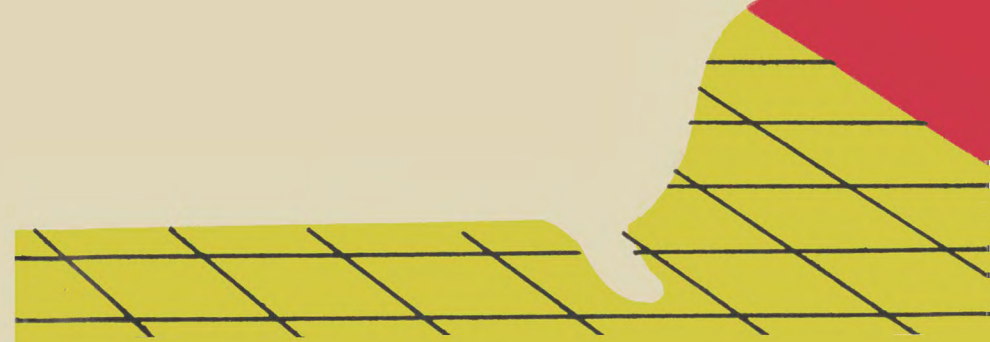




Х. Рачлис

**Физика
в
ванне**





Hy Ruchlis

BATHTUB PHYSICS

New York, Harcourt, Brace & World, 1967

Х. Рачлис

ФИЗИКА В ВАННЕ

*Перевод с английского
канд. пед. наук Р. Нудельмана*

*Предисловие
канд. пед. наук В. Разумовского*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
МОСКВА 1972

Рачлис Х.

Pa 12 Физика в ванне. Пер. с англ. канд. пед. наук Р. Нудельмана. Предисл. канд. пед. наук В. Разумовского. М., «Мир», 1972.
96 с. с илл.

Как стать исследователем? Как научиться наблюдать и объяснять происходящие вокруг нас физические явления? В этом вам поможет автор книги «Физика в ванне». Под его руководством, пользуясь простейшими средствами и самостоятельно ставя опыты, вы откроете для себя законы физики в будничных фактах. А лабораторией для вас послужит обыкновенная ванна, которая имеется в каждой современной квартире.

2—3—2
171—72

53 (001)

Редакция научно-популярной и научно-фантастической литературы

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физику можно изучать по книгам. Но можно знакомиться с этой наукой, проводя самостоятельные опыты и исследования. Какой же метод предпочтительнее? Лучше всего сочетать и тот, и другой. Многие учебные курсы и монографии предназначены для создания определенного, полного представления о физике как о науке в целом или об отдельных ее разделах. Книга Х. Рачлиса «Физика в ванне» служит совсем иным целям. Она дает некоторые начальные представления о методах физических исследований, о том, как изучаются физические явления и накапливаются новые знания.

Физика — наука экспериментальная. Все теоретические построения в ней основываются на наблюдениях реальных явлений. Следовательно, нужно прежде всего научиться наблюдать и описывать наблюдаемые явления. При этом чрезвычайно важно найти такие характеристики явления, которые можно было бы оценивать количественно и сравнивать друг с другом. Если удастся обнаружить функциональную зависимость между величинами, то эта зависимость может быть выражена очень экономно математической формулой.

Однако физика занимается не только отысканием внешней закономерности явлений. Она стремится постичь причину этих закономерностей, проникнуть в механизм явлений. С этой целью физики используют абстрактные модели и упрощенные мысленные построения. При этом очень часто предполагают, что механизм изучаемого явления аналогичен механизму другого, по тем или иным чертам сходного явления. Такая гипотетическая модель имеет эвристическое (познавательное) значение. Развивая логически это абстрактное построение, можно получить следствия — иными словами, новые знания о явлении. Однако для того чтобы быть уверенным в истинности теоретической модели явления и справедливости вытекающих из нее следствий, необходимо проверить их на практике, то есть экспериментально. Это не всегда просто сделать. Нужно придумать опыты, которые можно было бы проделать и убедиться в том, что теоретические предсказания оправдываются. Иногда эксперимент дает неожиданные результаты, которые не согласуются с принятой моделью. В этом случае (если

проверка показывает, что ошибки в эксперименте нет) приходится менять исходную модель, вносить поправки в теорию. В итоге процесс научного творчества развивается циклически: от наблюдений к гипотезе (построению модели); от модели к выводу теоретических следствий; от вывода следствий — к их экспериментальной проверке и оценке результатов.

Книга Х. Рачлиса ценна тем, что она подводит читателя к пониманию механизма научного исследования в физике и необходимости проведения его последовательных этапов. В отличие от множества других авторов, ставящих перед собой ту же задачу, Рачлис начинает повествование не с описания физической лаборатории или открытий, а с описания физических явлений, которые в состоянии наблюдать каждый. Лабораторией начинающего физика, который воспользуется его книгой, послужит ванна, имеющаяся в любой современной квартире.

Эта книга ценна тем, что читателю не требуется знать ничего для того, чтобы понять в ней все. Ее с увлечением прочтет и школьник, только что приступивший к изучению физики, и взрослый человек, который либо не изучал этого предмета прежде, либо забыл его. Начиная с рассказа о волнах, которые можно наблюдать на поверхности воды, автор по аналогии описывает и объясняет звуковые и световые явления, также имеющие волновую природу. Увлекательно пишет он об опытах, связанных с давлением внутри жидкости, с атмосферным давлением, с некоторыми тепловыми и механическими явлениями, которые можно наблюдать и самому исследовать в ванне.

Проведению таких наблюдений, расчетов и исследований во многом помогут специальные задания, приводимые в конце каждой главы. Возможно, не все из них одинаково понравятся читателю — некоторые кое-кому могут показаться чересчур простыми и потому малоинтересными. Но такие задания легко опустить.

Конечно, книга Рачлиса не дает представления о содержании современной физики. Автор рассматривает лишь несколько физических явлений, которые легко наблюдать и исследовать. Но рекомендуемые им самостоятельные эксперименты наверняка побудят многих к более серьезным занятиям увлекательнейшей наукой — физикой. В этом основной смысл и ценность книги.

В. Разумовский

1. ВВЕДЕНИЕ

Для чего человеку глаза? Чтобы видеть, разумеется.

А уши? Чтобы слышать.

А пальцы? Чтобы трогать, пробовать на ощупь, держать в руках различные предметы.

Носом мы нюхаем, а языком пробуем на вкус.

Все это — наши главные органы чувств; они рассказывают человеку обо всем, что происходит вокруг него.

Но — и это самое важное — у человека есть мозг, который запоминает все, о чем рассказывают органы чувств. Человек способен размышлять о своих ощущениях. Он способен понять, что они означают. Он способен выбирать, какому ощущению уделить внимание, а какое не замечать.

Попробуем на мгновение замереть и вслушаться. Внезапно мы начинаем слышать звуки, на которые прежде и не обращали внимания. Где-то вдали щебечет птичка, или капает из крана вода, или тихонько урчит холодильник, или шелестят на ветру листья. Интересно: раньше, когда мы к ним не прислушивались, эти звуки тоже были? Разумеется. Только наш мозг, который следит за всем окружающим, был занят чем-то другим, и мы не обращали на эти звуки никакого внимания.

Существует особый способ видеть, слышать и ощущать. Он называется наблюдением. В момент наблюдения мозг указывает органам зрения (глазам) на что смотреть, а органам слуха (ушам) — к чему прислушиваться. Теперь мы уже не просто смотрим, а всматриваемся, и не просто слушаем, а вслушиваемся.

Этому уменью наблюдать обязан учиться охотник — иначе ему не найти добычу. Уменью наблюдать детали должен учиться следователь, чтобы разгадать тайну преступления. Уменью наблюдать явления должен учиться ученый, чтобы накапливать данные.

Если вы хотите походить на ученого, вам тоже нужно учиться этому уменью наблюдать — точно так же, как в детстве вы учились уменью ходить и говорить.

Что же использовать в качестве лаборатории? Для на-

чала отлично подойдет обыкновенная ванна. Особых приборов нам не понадобится — мы не будем проводить больших исследований или сложных экспериментов, только самые простые. Вполне возможно, что ничего по-настоящему нового мы не откроем, но то, что мы узнаем, может оказаться новым *для нас*.

Наука „физика“

Эта книга называется «Физика в ванне». Что такое ванна, каждый, разумеется, знает. А что такое физика?

Физика — это наука. В самых простых словах можно сказать, что это наука, которая занимается движущимися телами, а также силами — то есть теми толчками и рывками, которые вызывают движение или изменяют его.

Кое-кто из вас, пожалуй, удивится — почему мы выбрали такое странное сочетание: ванна и физика? Ну, во-первых, с ванной все хорошо знакомы, а если нет, то не мешает познакомиться. Кроме того, в ванне, как всем известно, происходят интереснейшие события. Туда втекает вода. Потом в ванну садятся люди и вода поднимается. В ней плавают или тонут разные предметы. Образуются мыльные пузыри. Свет поблескивает на стенках ванны и на поверхности воды. Некоторые люди, поскользнувшись, падают и больно ударяются. Все эти события — и множество других — связаны с энергией, силами и движением. Поэтому все они — часть того, чем занимается физика.

Любая наука всегда стремится доискаться причин, по которым происходят те или иные явления. Из этой книги мы узнаем о причине явлений, происходящих в ванне. Возможно, кое-кто из вас и сам уже не раз их подмечал. Но вполне может статься, что, прочитав эту книгу, вы начнете видеть такие вещи, которые прежде не замечали, и задумываться над такими явлениями и событиями, которые прежде вас не интересовали.

С чего начинаются исследования

Нас окружает множество предметов, на которые мы не обращаем ни малейшего внимания до той поры, пока с ними не произойдет чего-либо необычайного. Если, к приме-

ру, пепельница, мирно стоявшая на столе, вдруг сама по себе взлетит в воздух — о, тут уже, конечно, будет серьезный повод для размышлений. Как это могло случиться? Почему? Нельзя ли заставить пепельницу подниматься и опускаться по нашему желанию?

Но для того чтобы начать исследование, вовсе не обязательно ждать таких удивительных происшествий. Допустим, в один прекрасный день та же пепельница на нашем столе тихонько задребезжит. А по улице (мы слышим) в это время проезжает грузовик. С этого тоже может начаться очень интересное исследование — тех колебаний, которые вызывает грузовик, и тех условий, в которых пепельница отзывается на эти колебания.

Вот и с ванной дело обстоит точно так же. Мы наполняем ее водой. Мы входим в нее. Садимся. Вода поднимается. Она колышется и плещется. По ее поверхности пробегают волны. Вода становится грязной. Потом мы открываем слив, и ванна опорожняется. При этом может образоваться водоворот. Все эти события, которые каждый может легко наблюдать, влекут за собой вопросы, а каждый вопрос может вырасти в целое исследование.

Прочсть или проделать самому

А теперь небольшое отступление по поводу того, как читать эту книгу. Один способ — устроиться поудобнее в кресле и читать все подряд, а за всеми экспериментами и исследованиями, о которых идет речь, следить мысленно. Это неплохой способ. Но, быть может, кому-то из вас захочется попробовать другой. В книге речь будет идти о различных явлениях, происходящих в ванне, и будут часто попадаться вопросы, рассчитанные на то, чтобы заставить читателя призадуматься. Что если, дойдя до них, остановиться и попробовать поразмыслить? Будет еще интереснее увидеть потом, насколько ваши ответы совпадают с приводимыми в книге или же отличаются от них. В тех местах, где в книге упоминается о явлениях, происходящих в ванне, не стоит, конечно, всякий раз прерывать чтение, раздеваться и лезть в воду — убедиться, верно ли говорится в книге. Но при первом же купании все эти утверждения нетрудно самолично проверить. А во многих случаях можно заменить настоящую ванну «маленькими

ванночками» — банками, мисками, стаканами и тарелками.

Увидеть самому всегда очень важно и притом по нескольким причинам.

Во-первых, именно так поступают ученые. Когда один ученый сообщает о каких-то своих наблюдениях, другие стараются повторить то, что он сделал, и проверить его наблюдения самостоятельно. Если это удастся только самому автору, значит, тут что-то неладно. Явление лишь тогда принимается за достоверное, когда его наблюдают многие ученые.

Во-вторых, проверяя какую-либо идею самостоятельно, вы по ходу дела можете подметить и такие явления, о которых в книге не упоминается. Эти неожиданные наблюдения могут привести к новым открытиям, дать новые сведения. Повторяя вслед за книгой те или иные описанные в ней опыты, нужно быть очень внимательным. И тогда не исключено, что вам самим удастся сделать новые открытия.

Ванна, как правило, ничем не угрожает человеку, но стоит проявить беспечность — и тотчас появляются опасности. Очень часто люди скользят и падают в ванне — по причинам, о которых мы поговорим позже. Поэтому в ванне не следует делать резких движений, особенно если пол или дно ванны влажные.

Запомните еще одно предостережение: для опытов нельзя брать стеклянную посуду. Ее можно уронить и разбить, а острые осколки стекла трудно заметить на белом кафельном полу. Лучше пользоваться посудой из пластмассы или металла.

Ну, а теперь перейдем к делу.

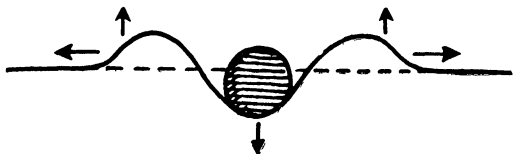
2. ВОЛНЫ

Наполним ванну водой и подождем, пока поверхность воды успокоится. Уроним в воду какой-нибудь небольшой, но тяжелый предмет — например, кусочек мрамора или камешек. В том месте, где он ударится о воду, тотчас образуется волна, которая начнет расходиться во все стороны в виде колечка.

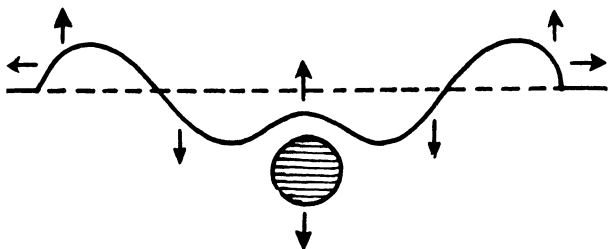
Если предмет достаточно велик, удастся, пожалуй, увидеть, как за первой волной следует вторая, третья, подчас целая вереница волн. Правда, ванна для этого тесновата,

но если бросить большой камень в пруд, такую длинную череду волн можно наблюдать.

Что служит причиной образования волны? Ударяясь о воду, предмет (в данном случае камень) начинает толкать ее вниз. Но вода не в состоянии опуститься вниз, потому что внизу уже есть вода. Чтобы дать камню дорогу, воде



Р и с. 1. Образование волны.



Р и с. 2. Распространение волны.

остается только один путь — вверх и в стороны, выше своего обычного уровня.

В результате вокруг камня поднимается небольшой водяной горб. Порой часть воды выталкивается столь быстро, что может даже оторваться от поверхности и расплескаться во все стороны.

Тяжелый предмет быстро погружается в воду, оставляя за собой пустое пространство. Разумеется, водяной горб не будет так и оставаться на одном месте. Часть воды упадет обратно в то пустое пространство, которое осталось позади предмета.

К этому времени вся вода вокруг точки, где предмет первоначально ударился о поверхность, приходит в сложное колебательное движение. Каждый небольшой объем воды движется вверх и вниз и заставляет окружающую его с обеих сторон воду тоже двигаться вверх и вниз, но не

в одно и то же время с ним. Эти колебания воды вверх и вниз можно наблюдать самому. Возьмем пробку (или какой-либо другой небольшой и легкий предмет) и пустим ее плавать по спокойной воде. Потом создадим волну, уронив в воду какой-нибудь предмет. Когда волна будет проходить под пробкой, та сначала подпрыгнет, а затем опустится.

Требуется некоторое время, чтобы один небольшой объем воды заставил двигаться другие по соседству. При этом одни объемы воды постепенно начнут подниматься, меж тем как соседние будут опускаться. Все это нетрудно видеть самому — для этого достаточно пустить в ванну несколько пробок, чтобы они плавали рядом. Как только около них возникнет волна, станет видно, что одни пробки поднимаются, а другие в то же время опускаются.

Но почему же волна продолжает распространяться во все стороны и после того, как породивший ее предмет улегся на дно? Например, камень, брошенный в воду, погружается на дно и уже там остается недвижимым, а волна по-прежнему расходится во все стороны.

Камень взбудоражил воду и привел ее в колебательное движение. Потом это колебательное движение происходит уже само по себе, независимо от того, чем оно вызвано. Колебания расходятся во все стороны с определенной скоростью, которая зависит главным образом от природы вещества, где они зародились.

В таких жидкостях, как мед или кленовый сок, которые гуще, чем вода, а потому текут медленнее, скорость волны была бы намного меньше. И затихла бы она намного быстрее.

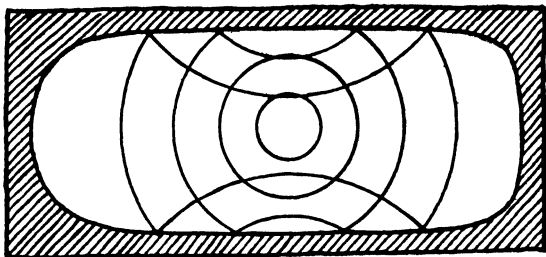
Волны можно вызвать и другими способами, не только бросая предметы, которые тонут в жидкости. Плавающие предметы, если их уронить на поверхность жидкости, тоже вызывают колебания, но при этом волны получаются гораздо хуже. Можно также вызвать волну, двигая в жидкости широкую пластинку — то в одну, то в другую сторону.

Почему бы не испробовать все эти способы образования волн в собственной ванне?

Можно вызвать целую вереницу волн, если двигать в воде ладонью взад-вперед. При этом очень важно поймать правильный ритм, но при небольшой тренировке нетрудно создать превосходную череду волн. Попробуем сде-

лать это где-нибудь поближе к середине ванны. Посмотрим, что произойдет, когда первая волна достигнет края ванны. Она отскакивает и движется в ином направлении — иначе говоря, отражается.

Стоит обратить внимание на одну удивительную особенность: волны, отразившиеся от стенки ванны, проходят сквозь новые волны, которые мы продолжаем создавать рукой. Каждая волна по-прежнему движется собственным путем, словно идущей навстречу волны и не существует.



Р и с. 3. Отражение водяных волн.

Это очень важная особенность любых волн. Они могут проходить одна сквозь другую и при этом не мешать друг другу.

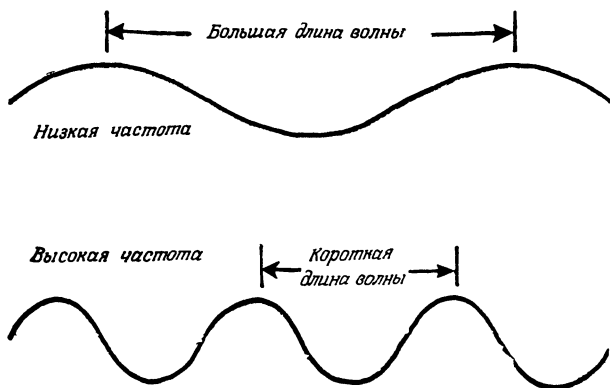
Теперь попробуем вызвать волны, равномерно покачивая в воде пластмассовую чашку — вверх и вниз, в определенном ритме. Присмотримся, насколько удалены друг от друга отдельные волны; это расстояние называется длиной волны. Теперь начнем двигать чашку чуть быстрее. На сей раз волны идут ближе друг к другу — значит, длина волны короче. Если же двигать чашку медленнее, расстояние между волнами увеличится — следовательно, длина волны больше.

Предположим, что мы двигаем чашку вверх-вниз один раз в секунду. Частота, или ритм, такого покачивания составляет в этом случае 1 колебание в секунду, или, как принято говорить, частота равна 1 герцу. Если чашка двигается вверх-вниз два раза в секунду, то частота равняется 2 герцам. Если же мы покачиваем чашку вверх-вниз 5 раз в секунду, то частота колебаний составляет 5 герц. В то время как частота увеличилась, расстояние между

волнами, или длина волны, стало меньше. Иными словами, длина волны с большей частотой короче.

У волн в ванне довольно короткая длина и большая частота. У волн, которые образуются от движущейся лодки, частота гораздо меньше (то есть волны образуются не так часто), поэтому длина волны у них намного больше.

Случается, что землетрясение вызывает внезапное вспучивание или провал земли под водой или на берегу. Тогда в воде образуется волна — точно так же, как от покачивания чашки появляется волна в ванне. Но морская волна имеет неизмеримо большие размеры. Ее длина может



Р и с. 4. Связь между частотой и длиной волны.

достигать многих километров, в то время как частота составляет всего несколько колебаний в час. Такие волны могут свободно перемещаться на огромные расстояния. Если высота гребня, или, как говорят, амплитуда такой волны, велика, то вода начнет медленно подниматься на много метров выше своего обычного уровня и двинется на берег. Такая волна, известная под названием «цунами» — иногда ее неправильно называют приливной волной, — может причинить большие разрушения городам и поселкам на побережье, за тысячи километров от места землетрясения.

Теперь вернемся на время к нашей ванне.

Посмотрим внимательно вокруг. Нет ли здесь еще каких-нибудь волн, кроме тех, что мы видим на поверхности воды? Есть — и даже самого разного типа.

Если дело происходит днем, то сквозь окно проходят световые волны, посылаемые солнцем. Вечером такие световые волны испускает электрическая лампочка. Эти световые волны обходятся без всякого вещества, вроде воды или воздуха. Они могут распространяться даже в совершенно пустом пространстве между Солнцем и Землей. В науке такие волны называются *электромагнитными*, потому что они тесно связаны с электричеством и магнетизмом.

Длины волн видимого света очень короткие — всего около $1/100\,000$ сантиметра, а частота у них колоссальная — около квадрильона (единица с пятнадцатью нулями) герц. У световых волн различных частей спектра (различных цветов) длина волны разная — от $1/70\,000$ сантиметра для красного цвета до $1/170\,000$ для синего.

Внесем в ванную комнату батарейный приемник и включим его. (Сетевой приемник никогда не следует включать в ванной, так как во влажном помещении может ударить ток.) Мы услышим передачу, которая ведется с радиостанции, расположенной за много километров от нас, — ведется с помощью *радиоволн*. Чтобы попасть в радиоприемник, этим волнам пришлось на своем пути проникнуть сквозь стены.

Радиоволны тоже электромагнитны по своей природе, но у них длина волны намного больше, а частота намного меньше, чем у световых волн. У тех радиоволн, на которых ведется большинство передач, длина волны составляет несколько сотен метров, а частота — около миллиона герц.

Очень может быть, что, находясь в ванной, вы вдруг услышите голос матери, которая зовет обедать. Мать находится на кухне, довольно далеко от ванной комнаты. Каким образом мы слышим, что она говорит? Это *звуковая* волна, представляющая собой колебание воздуха, расходится во все стороны от источника звука. Такие звуковые волны, создаваемые человеческим голосом, обычно имеют длину в несколько метров и частоту в несколько сотен герц.

Возможно, кое-кому покажется, что те водяные волны, которые мы создавали в ванне, не имеют особого значения в повседневной жизни. Но это не так. Волны всех видов играют очень важную роль. Световые волны жизненно

необходимы — и не только потому, что дают нам возможность видеть, но еще и потому, что являются основным источником энергии для растений. Радиоволны — это основа всей современной системы дальней связи. Звуковые волны служат людям для связи на короткие расстояния — с помощью речи. На некоторых из важнейших видов волны подробнее остановимся ниже. Исходным пунктом для проведения наших исследований, как и прежде, будет служить обычная ванна.

Задачи

(ответы приводятся на стр. 91)

1. Перед нами — небольшая лодка, стоящая в заливе на якоре. Каждые 4 секунды под ней проходит волна и лодка качается вверх-вниз. Расстояние между гребнями соседних волн примерно такое же, как и длина стоящей поблизости большой, 10-метровой лодки. Какова скорость волны? Сколько времени потребуется волне, чтобы достичь устья залива, которое находится за полкилометра отсюда?

2. Какова скорость радиоволн, если станция, передающая на частоте 1 миллион герц, испускает волны с длиной 300 метров?

Самостоятельные исследования

1. Поищите где-нибудь в окрестности возвышенность, с которой открывается вид на озеро или другой водоем. Понаблюдайте с этого удобного пункта за волнами, которые расходятся от лодок и катеров, а если у вас есть фотоаппарат — сфотографируйте эти волны несколько раз через определенные промежутки времени и затем посмотрите, что с ними происходит.

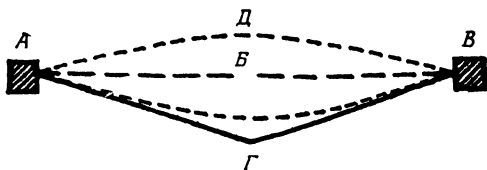
2. Бросьте в пруд или озеро одновременно два камня и наблюдайте, каким образом водяные волны проходят одна сквозь другую.

3. Возьмите полотенце и положите его на стенку ванны. Отражаются ли водяные волны от полотенца так же, как они отражались от ванны? Что произойдет, если взять другие материалы, например дерево, металл и т. д.?

3. ЗВУКИ

Прикрутим кран так, чтобы вода в ванну лилась не очень быстро. Опустимся на колени (на резиновом коврике, разумеется) и плотно прижмем ухо к стенке ванны, поближе к крану. Что там слышно? Поднимем голову и прислушаемся. Изменился звук? Для верности повторим опыт несколько раз.

Теперь плотно закроем кран и вынем пробку из ванны. Снова прислушаемся, прижимая ухо к верхней части



Р и с. 5. Колебания натянутой струны.

ванны, а затем поднимем голову. Слышите, как шумит вытекающая из ванны вода? Когда звуки слышны лучше — через ванну или в воздухе?

Через твердое вещество ванны звуки явно доходят лучше, чем по воздуху. Почему?

Давайте припомним, как рождаются некоторые звуки: например, хлопает дверь, молоток ударяет по гвоздю, мимо проезжает автомобиль, кто-то ступает по твердому полу, кто-то дернул струну гитары. Причиной звука всегда является какое-нибудь движение.

Когда мы ударяем по столу, крышка стола получает толчок и приходит в едва заметное движение. Захлопывая дверь, мы тем самым вызываем едва заметное движение стены. Любой движущийся предмет (или движущееся тело) всегда приводит в движение те предметы и тела, которых касается.

Столы и стены, как и большинство предметов, твердые и жесткие. Они не сразу приходят в движение, если по ним ударить, — разве что удар будет очень уж сильный. Но все они способны немного изгибаться. Поэтому всякий раз при ударе в них возникает едва заметное движение вперед-назад, иными словами, колебание.

Из рис. 5, где изображена сильно натянутая струна или резиновая лента (AB), видно, как происходит коле-

бание. Допустим, мы оттянули середину струны из ее нормального неподвижного положения в положение *Г*. Струна натягивается. Если ее отпустить, она возвращается обратно в положение *Б*. К тому времени, как струна приблизится к начальному положению *Б*, она наберет большую скорость. Стремясь продолжить свое движение в другую сторону, она постепенно замедляется, пока не остановится в положении *Д*. Теперь она вновь натянута и поэтому возвращается в положение *Б*. Но к тому времени, как она приблизится к нему, она уже опять набирает значительную скорость, и снова продолжает двигаться, и снова уходит почти на такое же расстояние в другую сторону. Со временем, после многих таких колебаний, струна, наконец, останавливается.

Примерно таким же образом происходит колебание всех твердых, жестких тел, если их внезапно толкнуть и заставить выйти из нормального положения покоя.

Если колеблется хотя бы один участок какого-нибудь тела, колебания распространяются на все тело. Колеблющийся участок попеременно толкает и тянет соседние участки, которые тоже начинают колебаться с ним в такт. Они в свою очередь приводят в движение соседние участки. Все это совершается очень быстро, в определенной последовательности. Итак, в результате внезапного толчка в одном каком-нибудь месте колебания расходятся ко всем другим участкам, напоминая собой расширяющийся круг с центром в источнике колебания. Все до единого колебания, идущие друг за другом, точно так же передаются во все участки твердого тела. Именно так звуковая волна и проходит сквозь твердое вещество.

Теперь понятно, почему, прижимая ухо к ванне, мы слышим, как ударяются о нее капли падающей воды. Колебания воды в ванне в свою очередь вызывают колебания твердого вещества, из которого сделана ванна, и по этому веществу колебания доходят до наших ушей.

Но почему мы продолжаем слышать звуки, когда поднимаем голову? Ведь теперь, казалось бы, нет ничего, что соединяло бы ухо с ванной. На самом же деле тут есть нечто, и это нечто — воздух. Воздух тоже вещество. Подобно воде, металлу и любому другому веществу, воздух состоит из мельчайших частичек, называемых молекулами, только в воздухе расстояние между этими молекулами больше, чем в жидкости или твердом веществе. Поэтому

воздух легче и прозрачнее, чем вода или металл. Но и он, как мы видим, способен передавать звуковые волны, потому что и его молекулы, соударяясь, совершают колебательные движения.

Воздух — упругое вещество, недаром его используют в автомобильных шинах, чтобы избежать тряски во время езды. Эта упругость, или, как еще говорят, эластичность, делает воздух и прочие газы хорошими проводниками колебаний, которые передаются в виде волн. В результате мы слышим звуки, проходящие по воздуху, точно так же, как и звуки, проходящие сквозь твердое вещество.

Вспомним опыт со звуками в ванне. Струя воды заставляет колебаться вещество, из которого сделана ванна, а оно заставляет колебаться окружающий воздух. Звуковая волна, распространяясь по воздуху, достигает ушей и заставляет колебаться гибкую барабанную перепонку. Тогда нервы внутреннего уха посылают в мозг сигналы о приходе звука, а мозг эти сигналы анализирует. Вот так мы слышим.

Но если звуковые колебания проходят сквозь твердые вещества и сквозь газы (или воздух), то не могут ли они проходить и сквозь жидкость? Если войти в большую «ванну» — например, в бассейн — и опустить голову под воду, можно без труда услышать, как плещется вблизи какой-нибудь пловец. На озере или на море звук лодочного мотора слышится даже с очень большого расстояния.

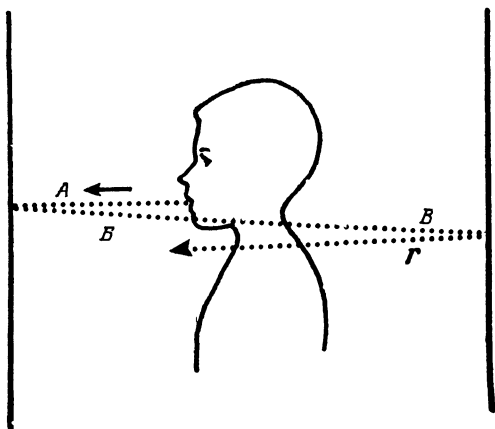
Звук проходит сквозь любое вещество — твердое, жидкое или газообразное. Но звук не в состоянии пройти сквозь вакуум — пространство, где нет абсолютно ни одной частички хотя бы какого-нибудь вещества.

К примеру, могут ли на Земле услышать шум двигателей космического корабля, летящего в космосе? Не могут, потому что в космосе нет ничего — ни воздуха, ни другого какого-либо вещества, которое передало бы звуковые колебания на Землю. Разумеется, можно уловить звуки внутри корабля, превратить их в радиоволны, переслать радиоволны на Землю и уже на Земле с помощью радиоприемника превратить их в звуковые волны. Но в таком случае можно говорить о том, что через космос летят уже не звуковые волны, а радиоволны, а у них совсем иная природа.

Пение в ванной комнате

Кто не любит петь, сидя в ванне? Как правило, очень многим это занятие нравится, и по весьма любопытной причине. Чтобы узнать, в чем она заключается, важна не столько ванна, сколько ванная комната (или душевая кабинка).

Войдем в ванную, прикроем плотнее дверь и попробуем что-нибудь спеть (как у кого получится). Затем перейдем в большую комнату и попробуем спеть там. Или, еще луч-



Р и с. 6. Отражение звуковых волн от стен.

ше, споем прямо на улице, когда вокруг никого нет (это для тех, кто боится слушателей).

В ванной комнате голос звучит сочно и громко. Сила звука увеличивается, а некоторые тона кажутся особенно полнотонными. Если у кого-нибудь из вас дома имеется закрытая душевая кабинка, обязательно послушайте свой голос в этом небольшом помещении. Тут он зазвучит с особой силой — почти как у настоящего оперного певца.

Почему же в маленькой душевой кабинке или в ванной комнате голос гораздо сильнее и звучнее, чем на улице или, на худой конец, в большой комнате? Музыкант

сказал бы, что такой звук «богаче резонансами», так как он громче, сочнее обычного. Одна из причин этого заключается в том, что звуковые волны по-особому отражаются от прочных твердых предметов, таких, как стены, потолок и пол ванной комнаты. Другая причина связана с различием между музыкальным звуком и простым шумом.

Рассмотрим подробнее распространение звуковой волны. Представим себе, что звуковая волна выходит из рта и движется по направлению к стене, как показано на рис. 6 пунктирной линией, идущей в сторону *A*. Как только звуковая волна ударяется о стенку, молекулы воздуха, который до того совершал колебательное движение, резко тормозятся и воздух сжимается, после чего, наподобие пружины, отталкивается назад, то есть отражается, и начинает двигаться в обратном направлении (как показано пунктиром, идущим к *B*). Вскоре волна достигает противоположной стены и снова отражается (положения *B* и *Г*).

Тем временем из рта поющего человека выходят все новые звуковые волны и добавляются к общему звуку. Эти новые создаваемые нами колебания, сложившись с волнами, отраженными от стен, увеличат силу колебаний и тем самым сделают звук значительно громче, чем он был бы в обычных условиях.

На улице, на просторе звуки попросту разойдутся во всех направлениях, так и не отразившись, не вернувшись к нашему уху. Стены же ванной комнаты или душевой кабинки образуют хорошую отражательную поверхность. Конечно, при каждом отражении от твердой поверхности какая-то часть колебаний пропадает. Но большая часть отражается обратно. А вот от мягкого ковра или занавесок на окнах отражений не было бы (от занавесей и мяч не смог бы отразиться). Поэтому комната, где есть ковры, занавеси на окнах или мягкая мебель, не позволяет получить такой же силы звук за счет отражений, какую дает ванная комната с ее твердыми стенами. Достаточно что-нибудь спеть в такой комнате, чтобы самому в этом убедиться.

А теперь попробуем спеть в ванной комнате по-другому. Сначала пропоем или (с закрытым ртом) просто прогудим самый низкий тон, какой удастся, после чего станем постепенно повышать его. Поднимаясь по «лесенке» тонов, мы обнаружим, что есть несколько тонов, которые звучат громче остальных. Про такие тона говорят, что они резонансными.

нируют. Из-за чего это получается? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно понять, чем музыкальный тон отличается от обычного шума.

Исследуя волны, мы наблюдали такое явление: когда в воде возбуждаются равномерно повторяющиеся колебания, скажем движением ладони взад-вперед, волна имеет некоторую определенную частоту, зависящую от ритма колебаний. При таких равномерно повторяющихся, регулярных колебаниях между волнами устанавливается определенная дистанция, иными словами, имеется определенная длина волны. Кроме того, мы подметили — тоже на примере водяных волн, — что бóльшая частота колебаний приводит к образованию более частых волн, которые находятся ближе друг к другу, а следовательно, имеют меньшую длину. Таким образом, высокая частота всегда связана с малой длиной волны.

Но допустим, что движение ладони не является равномерным, что мы беспорядочно взбалтываем воду. В этом случае образуются волны, которые не имеют определенной длины волны или частоты.

Примерно так же обстоит дело со звуковыми волнами. Волна музыкального звука имеет такую же равномерность, что и водяная волна, образованная равномерным движением руки; у шума же колебания неправильные — как те беспорядочные волны, которые возникают при взбалтывании воды. Если дернуть струну гитары, то по расплывшимся очертаниям струны сразу видно, что она колеблется с большой скоростью. Колебания струны происходят очень равномерно. Скажем, одна какая-нибудь струна способна колебаться ровно 200 раз в секунду. А другая совершает ровно 232 колебания в секунду. Третья может колебаться примерно 1050 раз в секунду. И каждая частота колебаний дает определенный тон.

Если для какой-то определенной гитарной струны число колебаний составляет 200 в секунду, значит, у нее каждое колебание следует за предыдущим через $1/200$ секунды. Колебания такой струны происходят настолько регулярно, что по ним можно измерять время, и это будут очень точные часы. И действительно, в одной из последних моделей часов время отмеряется не с помощью регулярных колебаний пружины или маятника, а по колебаниям крохотного камертона, который издает еле слышный музыкальный тон.

Частота, с которой качаются маятник в старинных стенных часах или пружина в ручных часах, слишком мала, чтобы породить различимый на слух музыкальный звук. Большинство людей начинает слышать звуки — в виде очень низкого музыкального тона — только в том случае, когда число колебаний достигает не менее 20 в секунду (то есть 20 герц). Самый низкий тон на фортепьяно (издаваемый последней клавишей слева) имеет частоту 27 колебаний в секунду. Клавиши в середине клавиатуры дают тона с частотой колебаний несколько сотен в секунду. А высокие тона от клавиш справа имеют несколько тысяч колебаний в секунду. Некоторые пожилые люди перестают слышать музыкальные тона начиная с 10 000 колебаний в секунду. А при 20 000 колебаний в секунду музыкальные звуки недоступны для всех без исключения людей, хотя некоторые животные — например, собаки, летучие мыши, дельфины — продолжают слышать и такие тона.

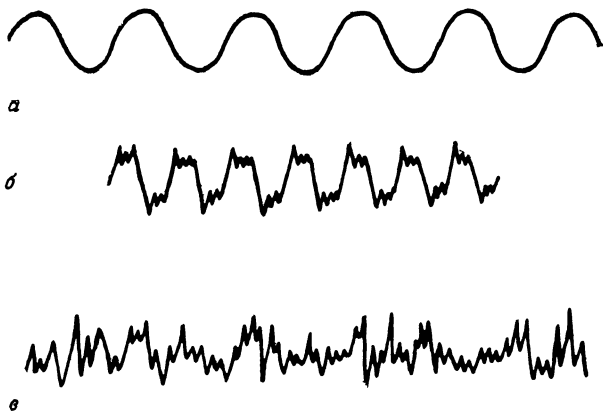
С помощью небольших свистков, которые производят звуки с частотой выше 20 000 герц, дрессировщики продвигают самые удивительные фокусы с собаками. Можно, например, научить собаку «считать» предметы — не в том смысле, что собака может смотреть и рассуждать, просто она будет обучена лаять всякий раз, когда кто-нибудь незаметно от публики подует в такой свисток. Спрятавшийся ассистент дрессировщика дует столько раз, сколько требуется сосчитать, а собака столько же раз лает. Так нетрудно обмануть зрителей, и многие из них действительно верят, будто собака умеет считать.

Итак, звук музыкальный и имеет определенную высоту только в тех случаях, когда его колебания повторяются регулярно, как показано на рис. 7, а и б. Шум (рис. 7, в) — это просто смесь всевозможных колебаний, в которой нет никакой регулярности. Поэтому у него нет и определенной высоты.

При ударе рукой по стене возникнет звук, который представляет собой смесь колебаний от всевозможных источников. Из промежутка между ладонью и стеной выдавливается воздух, и это порождает один вид колебаний. Ладонь колеблется и порождает другой вид колебаний. Стена состоит из различных материалов — там наверняка есть штукатурка, дерево или металл, и у этой сложной конструкции имеются свои особые колебания. В результате наложения получается беспорядочная смесь колеба-

ний, которую мы воспринимаем как шум. Когда же мы напеваем, придерживаясь одной определенной высоты тона, наши голосовые связки колеблются строго регулярно, совсем как скрипичная струна, и порождают строго размеренные звуковые волны. Такая же регулярность колебаний свойственна всем музыкальным инструментам, независимо от того, чем вызываются эти колебания — струнами, как у скрипки, или воздухом, как у флейты.

Допустим, мы напеваем, и при этом голосовые связки колеблются 200 раз в секунду. Это означает, что каждую



Р и с. 7. Длины волн различных звуков.

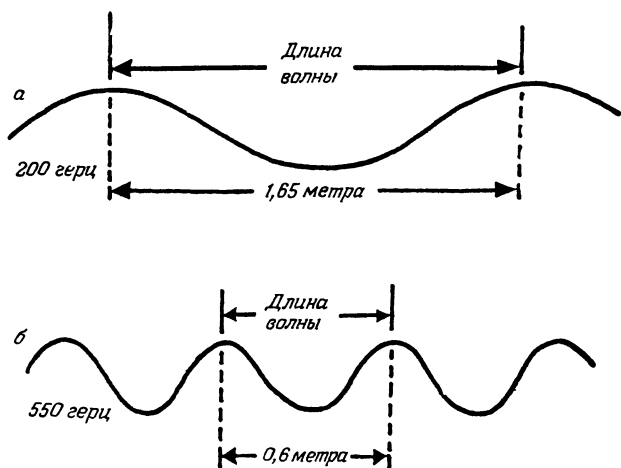
а — чистый музыкальный тон;
б — музыкальный тон с добавочными тонами (обертонами);
в — шум.

двухсотую долю секунды воздух около рта получает очередной толчок.

В каждом веществе звуковые волны движутся со своей определенной и неизменной скоростью. В воздухе эта скорость составляет около 330 метров в секунду. Что происходит, когда мы издаем музыкальный звук частотой 200 герц? К тому времени, как второе колебание только появляется, первое колебание уже продвинулось на $1/200$ долю от 330 метров, то есть примерно на 1,65 метра. Третье колебание появляется еще на $1/200$ секунды позже второго, тоже на 1,65 метра позади него. Все волны, следующие друг за другом, находятся на одинаковом расстоянии —

1,65 метра друг от друга. Поэтому говорят, что длина такой волны равна 1,65 метра (нагляднее в этом можно убедиться на рис. 8, а).

А теперь предположим, что мы воспроизводим более высокий тон с частотой 550 колебаний в секунду (550 герц). Тогда волны будут следовать на расстоянии $1/550 \cdot 330$, то есть 0,6 метра друг от друга. Это расстояние намного меньше, чем у волн с частотой 200 герц. Поэтому для более высокого тона длина волны меньше (рис. 8, б).



Р и с. 8. Звуковые волны различных частот.

Теперь представим себе, что звук с частотой 200 герц и длиной волны 1,65 метра образуется внутри ящика или помещения длиной 1,65 метра, то есть точно такой же, как и длина волны этого звука. В этом случае стенки будут отражать каждую волну так, что она будет проходить мимо рта, который является источником звука, именно в тот момент, когда возникает очередное колебание. Благодаря этому каждая предыдущая волна будет усиливать последующую. С каждым разом это усиление будет накапливаться и в результате образуются громкие резонирующие звуки.

Если размеры ящика или комнаты чуть больше или меньше 1,65 метра, совпадение во времени не будет таким идеальным. Каждое колебание будет проходить мимо рта

«не в ногу» с новым колебанием и, скорее, может помешать ему, что в итоге скажется на общей силе колебаний.

По этой причине для звука с частотой 550 герц и длинной волны 0,6 метра ящик или комната, длина которых составляет 1,65 метра, оказались бы неподходящими для согласования отраженных волн с новыми звуковыми волнами, выходящими изо рта. Для такой звуковой волны наилучшим явился бы ящик длиной 0,6 метра. Значит, каждый ящик лучше всего резонирует с тем звуком, длина волны которого соответствует размерам этого ящика.

Те конкретные размеры (резонирующих ящиков или комнат), о которых мы только что говорили, не единственно возможные для резонанса со звуками частотой 200 и 550 герц. Вообще-то говоря, ящик, у которого длина вдвое меньше или вдвое, а то и вчетверо больше упомянутой резонансной длины, тоже дает идеальное совпадение по времени и тоже будет резонировать. И еще нужно помнить, что длина, ширина и высота ящика — или ванной комнаты — могут быть различными. Кроме того, колебания могут отражаться от изогнутых поверхностей, например от самой ванны. Именно поэтому ванная комната может резонировать даже не с одним, а с целым набором тонов одновременно.

Когда мы поем в большом помещении, звукам требуется больше времени, чтобы дойти до стен и отразиться, а по мере того, как звуки расходятся на большие расстояния, они слабеют. К тому же размеры комнаты не позволяют резонировать с такими тонами, которые мы обычно издаем. Так, большая жилая комната способна отлично резонировать с самым низким тоном, который издает орган, ибо длина волны такого тона составляет 6—9 метров. Но та же комната слишком велика, чтобы резонировать со звуком, который производят наши голосовые связки, когда они создают колебания с длиной волны 0,3—0,9 метра.

В таком случае маленький ящик окажется, пожалуй, еще более подходящим резонатором для человеческого голоса, чем ванная комната. Попробуем выяснить, так ли это. Возьмем закрытую со всех сторон картонную коробку. Прорежем в одной из ее широких сторон круглое отверстие в 5—7 сантиметров и попробуем перед ним спеть. При этом начнем с самого низкого тона и постепенно поднимемся до самого высокого. Ну как, резонирует пустая коробка с какими-нибудь определенными тонами?

Произведем тот же эксперимент с бутылкой из-под молока или лимонада, с пустой банкой или кувшином. На одинаковые ли тона они отвечают?

Кое-кого из вас, верно, удивит то обстоятельство, что бутылка из-под молока вообще способна резонировать с каким-либо музыкальным тоном. Но дело в том, что в тех случаях, когда звук образуется вне резонатора, резонанс может наступить и тогда, когда размер самого резонатора равен $\frac{1}{4}$ длины волны. Для обычного тона, скажем с длиной волны 0,9 метра, бутылка высотой 0,9/4 метра, то есть примерно 22 сантиметра, и будет наилучшим резонатором.

Наверно, каждому из вас случалось хоть раз задуматься, почему корпус скрипки или виолончели имеет такую причудливую форму?

Это делается для того, чтобы различные музыкальные тона нашли для себя внутри корпуса нужную для их резонанса длину. Например, очень высокие тона с короткой длиной волны находят подходящую для резонанса длину между верхней и нижней деками скрипичного корпуса. Средние тона находят соответствующую их резонансу длину в средней части корпуса. Низкие тона с большой длиной волны находят соответствующие им размеры вдоль корпуса. S-образные вырезы в верхней скрипичной деке, под струнами, — это места, откуда усиленные резонансом звуки начинают распространяться во все стороны.

Почему у виолончели корпус намного больше, чем у скрипки? Струны виолончели длиннее, толще и не так натянуты, поэтому колеблются они медленнее, чем струны скрипки. Из-за этого виолончель издает не очень высокие музыкальные тона с низкой частотой колебаний и большой длиной волны. Но такие «длинноволновые» звуки требуют больших резонаторов. Именно поэтому корпус виолончели должен быть больше, чем корпус скрипки.

Есть инструменты типа ксилофона, в которых звуки образуются от постукивания молоточком по отдельным металлическим полоскам — каждая из этих полосок может колебаться. Под каждой из них имеется полая резонирующая камера, которая усиливает звучание металлической полоски.

Как это мы ухитрились — начали с ванной комнаты, а кончили скрипкой? Это и есть одна из загадок любой нау-

ки. Научные законы обладают удивительной особенностью — они приложимы ко всему, что нас окружает, включая ванны комнаты, скрипки и бутылки из-под молока.

Задачи

(ответы приводятся на стр. 91—92)

1. Почему, когда оркестр играет в большом зале, музыка звучит по-разному — в зависимости от того, полон зал или пуст?

2. Раскат грома вы слышите спустя 25 секунд после того, как вдалеке видите вспышку молнии. На каком расстоянии сверкнула молния?

3. На каком расстоянии находится крутой склон, от которого эхо приходит через 1,3 секунды после возгласа?

Самостоятельные исследования

1. На стр. 24 было сказано, что скорость звука в воздухе равняется примерно 330 метрам в секунду. Как можно проверить это на опыте?

Почему бы, в самом деле, не попробовать измерить скорость звука?

2. Большое здание на краю открытого, слегка наклоненного к зданию поля — отличное место для изучения эха. Встаньте шагах в десяти от стены здания и крикните что-нибудь. Слышите эхо? Теперь отойдите на 20 шагов, на 30, 40, 50 (расстояние можно измерять с помощью складного метра).

С какого расстояния вы начинаете слышать эхо? Как объяснить, почему эхо слышится только с некоторого минимального расстояния?

3. Можно ли считать, что в воздухе на большой высоте скорость звуковых волн такая же, как и внизу? А в стальном рельсе она такая же, как в воде или как в воздухе? Или в воздухе она больше? Меньше? Возможно, кто-то из вас захотел прочесть в библиотеке о скорости распространения звука в различных веществах. Нельзя ли сообразить, как использовать полученные сведения, чтобы понять работу подводного ультразвукового лоатора, который обнаруживает предметы под водой? Дельфины и летучие мыши тоже используют подобное локационное устройство, чтобы различать предметы.

4. ЛУЧИ СВЕТА

В двух предыдущих разделах мы исследовали два вида волн — те, что образуются в воде, и звуковые волны. Теперь обратимся к новому виду волн — к *световым* волнам.

Нальем в ванну немного воды так, чтобы глубина ее достигала примерно 10 сантиметров. Закроем кран и выждем, пока все волны улягутся, а потом взглянем вниз. Там мы увидим изображение своего лица, почти такое же, как в настоящем зеркале, только чуть туманнее. Сделаем его поярче, осветив лицо карманным фонариком.

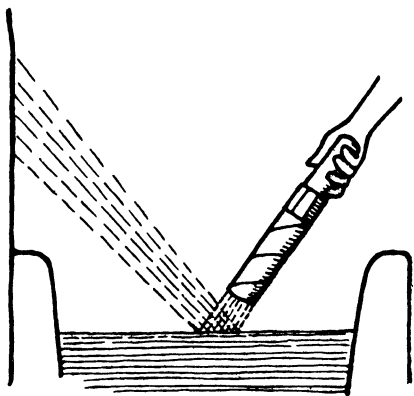
А теперь попробуем осторожно пошевелить воду пальцем. Видите, изображение исказилось — вначале задрожало, заколыхалось, а затем постепенно успокоилось и вновь стало неподвижным. Вот оно уже приняло свой первоначальный вид. Взболтаем воду посильнее. На сей раз изображение исчезло совсем.

Почему водная поверхность образует зеркальное изображение? И почему оно не такое отчетливое, как в обычном зеркале? Почему изображение становится более ярким, если подсвечивать лицо фонариком? Почему оно исчезает, когда поверхность воды становится неровной?

Выяснение всех этих вопросов хорошо начать вот с чего — осветить фонариком поверхность воды, погасив предварительно свет в ванной. Спереди на фонарик лучше всего одеть картонную трубку примерно 30 сантиметров длиной. Если кто-то из вас не сумеет достать готовую трубку, можно сделать ее самому, скатав несколько листов бумаги и закрепив конец клейкой лентой.

В такой трубке фонарик даст почти нерасходящийся пучок света, как показано на рис. 9. Направим этот пучок вниз, на поверхность воды, и понаблюдаем, что с ним произойдет.

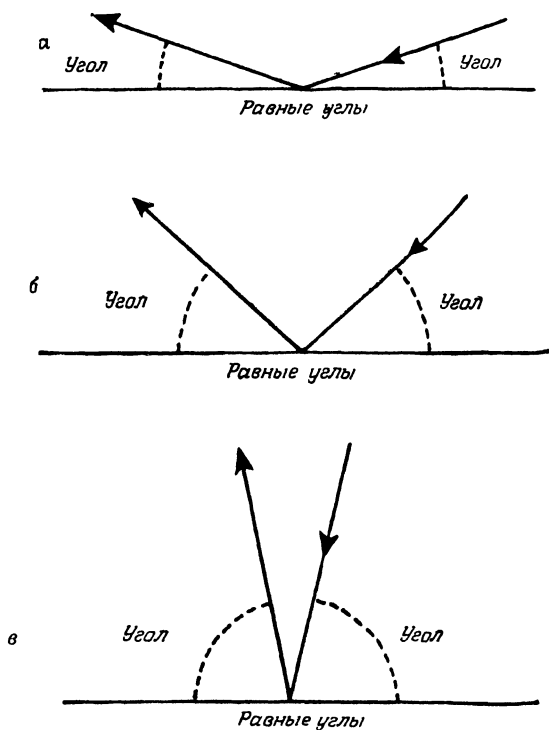
Для начала будем держать фонарик на-



Р и с. 9. Отражение света от поверхности воды.

клонно. Отражается ли свет от поверхности воды? Существует несколько способов проверить это. Один из них — попытаться найти световой зайчик на стене возле ванны. Иногда отраженный пучок можно даже увидеть, особенно если в воздухе есть пылинки. Можно попробовать самому вызвать облачко «чистой пыли» — для этого нужно разбросать в воздухе, чуть повыше отраженного пучка, мельчайший порошок талька. А можно воспользоваться еще одним способом: если в семье кто-нибудь курит, попросите его пустить дым на отраженный пучок. Частицы пыли или дыма в воздухе отражают свет в сторону глаза, и пучок становится видимым.

Если же возле того места, где пучок света попадает на воду, выставить ладонь, на ней покажется яркое пятно — это значит, там проходит отраженный пучок света. Мед-



Р и с. 10, а—в. Три типичных случая отражения.

ленно поднимая руку, чтобы проследить за пучком, мы в конце концов коснемся яркого пятна на стене.

Присмотримся, под каким углом пучок ударяется о поверхность воды, а затем попытаемся установить, под каким углом он отражается. Для этой цели лучше всего воспользоваться методом обнаружения пучка с помощью талька или дыма. Что можно сказать относительно угла, под которым пучок ударяется о воду, и угла, под которым он отражается? Они явно одинаковые.

Попробуем изменять наклон пучка. На рис. 10 показаны некоторые типичные случаи отражения. Если световой пучок ударяется о воду под небольшим углом, как на рис. 10, а, отражение от поверхности происходит под таким же небольшим углом. Если же угол между световым пучком и поверхностью воды больше, как на рис. 10, б, отраженный луч отходит от воды также под бóльшим углом. Если же пучок идет почти вертикально вниз, как на рис. 10, в, он отражается почти вертикально вверх.

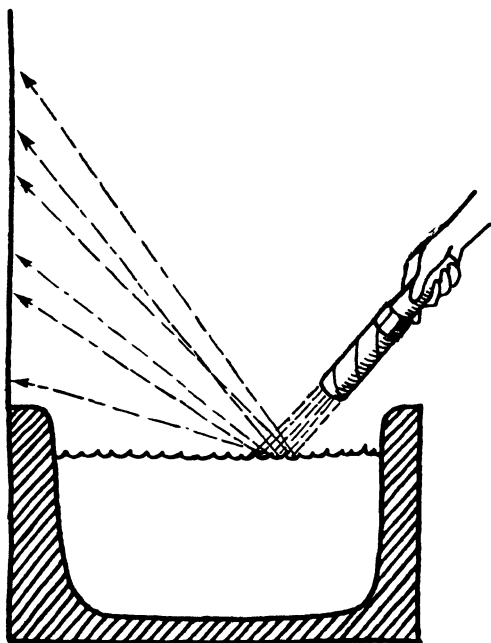
А теперь направим пучок света наклонно к воде так, чтобы на стене образовалось световое пятно. При этом поверхность воды должна быть слегка неровной (дотронемся до нее несколько раз пальцем). Что произойдет с четким отраженным пятном на стене? Смотрите, оно расширяется, становится размытым, искажается, оно дрожит и колыхается.

Множество лучей (очень узких пучков) света, посылаемых фонариком, падает на воду почти под одинаковым углом. Если поверхность воды спокойная и ровная, то она отразит все лучи света под одинаковыми углами, то есть все лучи отразятся согласованно и пучок света останется, как и был, собранным. Вот почему, когда поверхность гладкая, на стене образуется небольшое яркое пятно.

Когда же мы «потревожили» воду, на ее поверхности образовалась рябь. И хотя отраженные лучи по-прежнему отходят от поверхности под тем же углом, под каким падающие лучи ударялись о каждый участок воды, теперь каждый участок поверхности все время меняет свое положение (рис. 11). Из-за этого наклон каждого отдельного луча света к воде постоянно меняется, и луч всякий раз отражается в другом месте на стене. Пучок света прыгает, расширяется — он становится то меньше, то больше, в зависимости от того, насколько возбуждена поверхность воды.

Итак, только гладкие поверхности могут давать сконцентрированное отражение. На неровной поверхности отражения расходятся во все стороны.

Почему на поверхности образуется зеркальное изображение? Допустим, кто-либо смотрит в воду, стремясь уви-



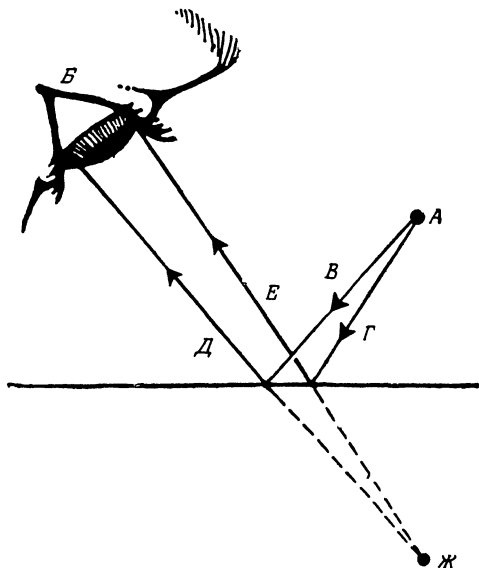
Р и с. 11. Отражение света от неровной поверхности воды.

деть в ней отражение маленького предмета *А* (рис. 12). На рисунке глаз смотрящего человека *В* показан сильно увеличенным — это позволяет лучше разобраться, что же происходит со светом. Предположим, что лучи солнечного света падают на предмет *А* и отражаются им.

Как правило, предметы не бывают такими гладкими, как поверхность спокойной воды или зеркала. Строго говоря, если на поверхности предмета есть неровности, составляющие всего $1/25\,000$ сантиметра, этого уже достаточно, чтобы отражать свет во всех направлениях. Представим

себе, что предмет *А* имеет такие неровности. Рассмотрим, например, солнечные лучи *В* и *Г*, отраженные от предмета. Они пойдут от поверхности воды, как показано буквами *Д* и *Е*, и в конечном счете попадут в глаз *Б*.

Обратите внимание, насколько расходятся лучи *В* и *Г* по мере того, как идут наклонно по направлению к воде.



Р и с. 12. Образование зеркального отражения.

После отражения от поверхности, каждый под своим углом, они продолжают расходиться, пока не попадут в глаз. Глаз не может знать, откуда к нему приходят лучи на самом деле. Ему кажется, что они выходят из точки *Ж*, расположенной ниже поверхности воды. Другими словами, глаз видит подобие, или изображение, предмета *под* поверхностью воды.

В большинстве случаев предметы бывают больше, чем предмет *А*, показанный на рисунке. Но справедливость рассуждения от этого не меняется. Каждая точка большого предмета дает свое собственное изображение. В глазу же изображение всех этих точек складывается в одно изобра-

жение, которое выглядит точно так же, как сам предмет.

Разумеется, чтобы создать подобное изображение, нужна очень гладкая отражающая поверхность, которая позволяет лучам отразиться таким образом, что после отражения они располагаются друг относительно друга так же, как и до отражения. На гладкой поверхности так оно и получается, а неровная поверхность искажает изображение, ибо отражает лучи как попало.

Любая гладкая поверхность отражает свет точно так же, как гладкая поверхность воды. Большинство зеркал изготавливается из очень гладкого стекла, покрытого с обратной стороны тонким слоем хорошо отражающего серебра (или другого металла). Хорошо отполированный стол или же натертый пол также дают зеркальное отражение, равно как и оконное стекло. Зеркалом могут служить и блестящие бока автомобиля. Но их изогнутая поверхность отражает свет не под таким углом, как плоская поверхность, поэтому изображение выглядит искаженным.

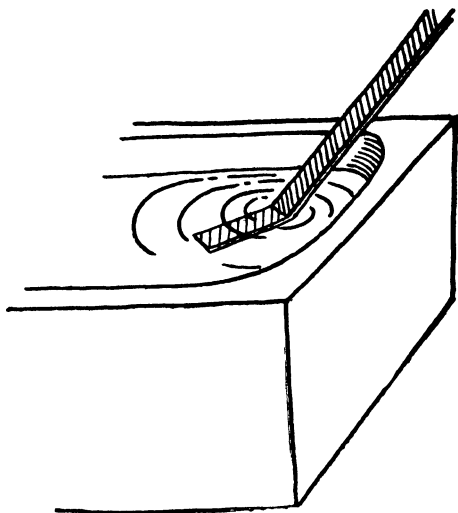
Теперь попробуем ответить на вопрос: почему изображение в воде не такое ясное, как в зеркале? Это объясняется несколькими причинами. Снова возьмем фонарик и осветим наполненную водой ванну. Весь ли свет отражается? Нет, часть его, причем бóльшая, проходит сквозь воду и освещает дно ванны.

Доля световой энергии, отражающейся от воды, невелика — каких-нибудь 10 процентов. Что же касается зеркала, то там наблюдается обратная картина. Слой металла, расположенный на тыльной стороне зеркала, отражает бóльшую часть падающего на него света — около 95 процентов. Именно поэтому изображения, которые мы видим в обычном зеркале, намного ярче изображений на поверхности воды.

Вторая причина, по которой изображение в воде более темное, заключается в том, что, глядясь в ванну, мы своей головой загораживаем свет. Свет от висящей под потолком лампы или солнечный свет, льющийся в окно, может падать на лицо только обходным путем — ему приходится сначала отразиться от стен, от пола или от стенок ванны. Надо ли добавлять, что раз лицо плохо освещено, то и изображение получается тусклым. Когда мы подсвечиваем лицо фонариком, часть света отражается непосредственно от лица, затем идет в воду, и в результате изображение становится ярче.

Изогнутая прямая палка

Что происходит со светом, который не отражается от поверхности воды в ванне? Чтобы ответить на этот вопрос, сделаем следующий опыт. Нальем ванну, как обычно для купанья, и опустим в воду прямую палку, слегка ее наклонив. Теперь, если мы посмотрим на палку, она больше не покажется нам прямой: та ее часть, которая находится в воде, как бы изогнута кверху.



Р и с. 13. Палка, опущенная в воду, кажется изогнутой.

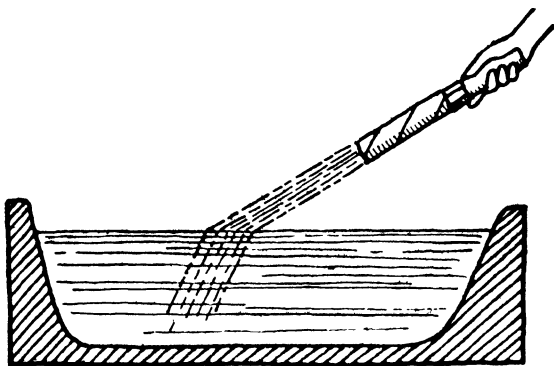
Ну, а если чуть вынуть палку из воды? Тогда наружная ее часть вновь будет совершенно прямой, а погруженная в воду по-прежнему кажется изогнутой кверху.

Теперь совсем вынем палку из воды — она совершенно прямая, как и была. Место изгиба полностью распрямилось.

Вам, видимо, ясно, что палка вовсе не изгибается в момент погружения в воду и не распрямляется, когда мы вынимаем ее из воды. Если кто-либо в этом сомневается, пусть пощупает «изогнутую» часть палки, находящуюся в воде. На ощупь она совершенно прямая. Тут явно имеет место

какой-то оптический обман, в силу которого мы видим то, чего в действительности нет. Зеркальное изображение — это ведь тоже обман такого рода. Предметы, которые кажутся нам находящимися за зеркалом, на самом деле находятся в другом месте.

Исследуем это явление глубже. Для этого воспользуемся фонариком с трубкой, который мы изготовили ранее, когда речь шла о зеркалах.



Р и с. 14. Свет, входя в воду, как бы изгибается.

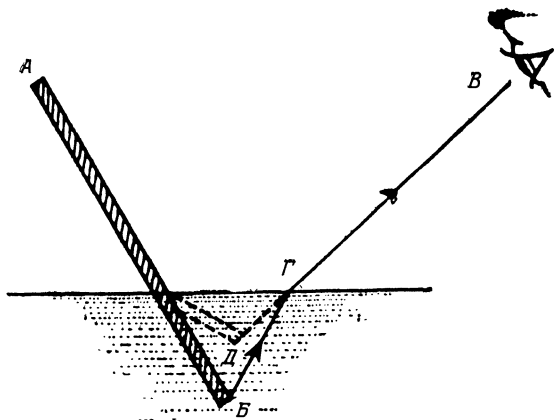
Затемним, насколько возможно, ванную комнату, после чего направим фонарик вниз и пустим пучок света в воду. Наклоняя фонарик то так, то эдак, заставим пучок идти то вертикально вниз, то скользить почти у самой воды. Видно, что в том месте, где он входит в воду, световой пучок резко преломляется. В воздухе он идет совершенно прямо, в воде тоже, но там, где вода встречается с воздухом, световой пучок резко изгибается вниз.

Кое-кого из вас может, пожалуй, смутить то обстоятельство, что палка в воде кажется изогнутой кверху, а световой пучок — изогнутым книзу. Если вы этого не заметили, еще раз обратите внимание на различие рис. 13 и 14.

Это противоречие кажущееся, и его легко объяснить, если более подробно разобраться, что происходит с идущим из воды светом. На рис. 15 показана прямая палка *АВ*, какая она есть на самом деле. В глаз наблюдателя, расположенный над водой, попадает свет, отраженный от

конца палки B . Но, переходя из воды в воздух, луч света, идущий от B , идет не по прямой, а изгибается в точке Γ и, очевидно, следует по пути $B\Gamma B$, раз он попадает в глаз наблюдателя.

Наблюдатель не может знать, откуда в действительности приходит световой луч. Луч входит в глаз по направлению ΓB , значит, наблюдателю кажется, будто свет при-



Р и с. 15. В воде предметы кажутся приподнятыми.

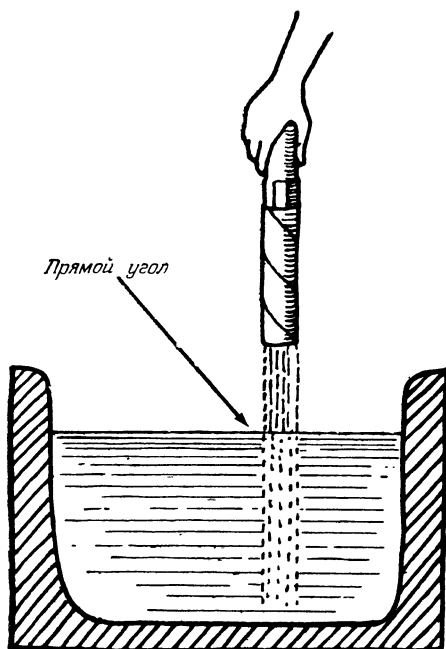
ходит по прямой, которая проходит чуть в стороне от Γ , то есть откуда-то из точки D . Там, по его мнению, и находится конец палки.

Обратим внимание, что точка D расположена выше точки B , именно поэтому палка кажется загнутой кверху. Кроме того, палка выглядит короче, чем в действительности. Эти два правила применимы ко всем предметам, погруженным в воду. Если предмет погружен в воду лишь частично, его подводная часть всегда кажется короче. Более того, все предметы в воде кажутся ближе к поверхности, чем это есть на самом деле.

Кому-нибудь из вас приходилось стрелять в рыбу из подводного ружья? Кому приходилось, тот, верно, знает, как это трудно. Дело в том, что рыба находится вовсе не там, где мы ее видим. Если целиться прямо в рыбу, стрела непременно пройдет выше. Поэтому всегда нужно целиться чуть пониже, внося поправку на искривление световых лучей.

Только в одном случае очень узкий параллельный пучок света не будет изгибаться: если он идет вертикально, то есть прямо вниз. В этом случае свет входит в воду под прямым углом и идет вниз без излома.

Искривление светового пучка при переходе из одного прозрачного вещества (например, воды или стекла) в дру-



Р и с. 16. Под прямым углом искривления не происходит.

гое прозрачное вещество (например, воздух) называется *преломлением*. Преломление имеет очень важное значение: на нем основано действие всех оптических приборов, в которых есть линзы. Зрение людей и животных также основано на преломлении света линзой (хрусталиком), которая находится в глазу.

Можно было бы еще очень много рассказать об интересных явлениях, происходящих со светом в ванне. Но пусть это станет предметом ваших самостоятельных исследований. В этом вам помогут наши вопросы и задания.

Задачи

(ответы будут даны на стр. 92—93)

1. В ясный солнечный день, находясь в комнате, поглядите в окно: оконного стекла почти совсем не видно. Зато ночью в нем отчетливо видны зеркальные изображения предметов, которые находятся в комнате. Если же стоять снаружи, на солнышке, и заглядывать внутрь комнаты, то днем изображения видны, а ночью они пропадают.

Чем объяснить это различие?

2. Если стены комнаты увешаны очень большими зеркалами, комната кажется больше. Почему?

3. Если нырнуть в чистое озеро или пруд и открыть глаза под водой, то очертания предметов на дне кажутся смазанными. Но если одеть маску с прозрачным стеклом так, чтобы между стеклом и глазами был воздух, то предметы видны совершенно отчетливо. Как вы это объясните?

Самостоятельные исследования

1. Скрепите вместе два тоненьких зеркала, прижав их краями друг к другу, и поставьте зеркала на какую-нибудь цветную картинку. В зеркалах получаются замечательные калейдоскопические узоры.

Раздвиньте зеркала и проследите за тем, как изменяются изображения. Исследуйте их и попытайтесь выяснить, почему они образуются.

2. Изображение в зеркале перевернуто по отношению к предмету, который вы рассматриваете. Если, глядя в зеркало, вы закроете левый глаз, вам покажется, будто изображение закрыло правый глаз. Но если посмотреть в зеркало, приставленное под прямым углом к другому зеркалу, то перевернутое изображение вновь перевертывается, и все предметы видны такими, какие они есть на самом деле.

Поставьте два зеркала под прямым углом друг к другу и посмотрите на себя. Странно, не правда ли? Интересно, сумеет кто-нибудь из вас причесаться, глядя на свое «исправленное» изображение?

3. Попробуйте написать на листке свое имя, глядя при этом в зеркало и следя за изображением руки. Между глазом и рукой поставьте книгу, чтобы исключить прямое наблюдение за рукой. Вам удалось что-нибудь написать? Нет? Чем это объяснить?

4. Возьмите наполненный водой стакан и посмотрите сквозь него на карандаш, который установлен за стаканом вертикально. Переставьте карандаш влево, теперь вправо. Что при этом видно? Попробуйте сначала держать карандаш близко к стакану, потом отодвиньте его на расстояние вытянутой руки. Как найти объяснение тому, что происходит?

5. Быть может, кому-то из вас захотелось прочитать о преломлении света в выпуклых и вогнутых линзах и о том, как это приводит к образованию изображений. Можно и самому исследовать такие линзы, воспользовавшись уже ненужными очками. Пожилые люди склонны к дальнозоркости, и линзы в их очках, как правило, выпуклые. Близорукие люди пользуются вогнутыми линзами.

5. МАГНЕТИЗМ

Из чего сделана ванна? Вы когда-нибудь задумывались над этим? А ведь это же такой простой, естественный вопрос! Ответить на него очень просто. Магнит — вот ключ к разгадке. Любой магнит немедленно даст ответ.

Наверно, многие из вас знают, что предметы, которые притягиваются к магниту, как правило, состоят в основном из железа. Среди знакомых каждому железных, притягивающихся к магниту предметов — скрепки для бумаг и канцелярские кнопки, гвозди и болты, гайки и металлические части инструментов, вроде молотка, клещей и отвертки. Если какой-нибудь из этих предметов не притягивается к магниту, значит, он, скорее всего, сделан не из железа, а из другого вещества.

Существует еще только один распространенный в природе металл, который в чистом виде притягивается к магниту, — никель. Однако никель часто смешан с другими металлами и тогда он образует сплав, который к магниту не притягивается.

Такие металлы, как алюминий, медь, латунь и свинец, магниты почти не притягивают. Не притягивают они и предметы, сделанные из пластмассы, бумаги, дерева, ткани, резины, стекла и других материалов.

Если железный предмет покрыть краской, эмалью или чем-нибудь подобным, он все равно будет притягиваться

к магниту, так как эти покрытия не влияют на магнетизм. И если даже предмет, сделанный из железа, внешне совершенно не похож на железный, все равно мы можем распознать железо с помощью магнита, несмотря на внешнее покрытие.

Если приблизить магнит к стенке ванны, то сразу обнаруживается, что ванна его притягивает. Следовательно, ванна в основном сделана либо из железа, либо из чистого никеля. Но чистый никель намного дороже железа, поэтому вряд ли из него будут делать ванны. А раз так, значит, мы можем смело допустить, что ванна сделана именно из железа.

А из чего сделана раковина в ванной комнате? Почему бы вам не выяснить это?

Зачем железную ванну покрывают сверху эмалью? Поскольку саму ванну не так-то легко исследовать, заменим ее в нашем опыте железной иглой.

Нальем воду в пластмассовую тарелку или пузырек, бросим в воду иглку и поставим посуду в сторонку. Пройдет день-другой, и мы обнаружим, что иглка заржавела. Если покачать пузырек, в воде могут появиться небольшие коричневые хлопья ржавчины, и вода станет коричневой. Кто не верит на слово, пусть сам попробует проделать этот опыт.

Будем ежедневно менять ржавую воду и наливать вместо нее свежую. Ну, как, продолжает иглка ржаветь? Что стало с ней через неделю? Через месяц? Через год?

Иглка ржавеет оттого, что железо соединяется с газом (кислородом), который попадает в воду из воздуха. При этом железо превращается в другое вещество, называемое окисью железа. Оказывается, вода ускоряет такое превращение, поэтому стоит хоть немного увлажнить железо, как оно быстро начинает ржаветь.

Все ли металлы ржавеют? Кому не нравится гадать вслепую, пусть попробует выяснить это самостоятельно. Только вместо обыкновенной иглки исследуйте поочередно: анодированную заколку, медную монету, никелированный шар от старой кровати, серебряную монету, алюминиевую фольгу, какой-нибудь латунный предмет (сделанный из сплава цинка и меди), свинцовое грузило.

Что случилось бы с ванной, если бы она была сделана из чистого железа? Нетрудно сообразить, что такая ванна быстро заржавеет, как только в нее станут лить воду.

Каким же образом избежать ржавчины? Любое покрытие, которое мешает кислороду и воде соединиться с железом, предотвратит появление ржавчины. Для этого вполне подошла бы краска, но краска легко стирается и к тому же при длительном соприкосновении с водой поддается ее действию. Можно покрыть железо нержавеющей сталью и тем самым «спрятать» его от воды. Например, анодированное железо — это железо, покрытое нержавеющей сталью цинком. Такое железо можно было бы использовать для ванны, но пройдет время, в покрытии появится царапина, достаточно глубокая, чтобы открылось железо, и в этом месте оно начнет ржаветь. Можно сделать ванну из металлов, не поддающихся ржавчине, например из латуни или меди. Но они намного дороже железа.

В большинстве ванн, которыми мы пользуемся, железо защищено стекловидным покрытием. На заводе ванну покрывают пастой, которая содержит глину и специальный камень, измельченный в порошок. Потом ванну «прожаривают» до белого каления, пока паста не превратится в похожий на стекло фаянс. Такое покрытие будет твердым и гладким, его трудно поцарапать, оно долго держится и не дает железу ржаветь.

Ванна и Северная Канада

Какое отношение имеет Северная Канада к нашей ванне?

Если вы посмотрите на компас, то обратите внимание на то, что концы его стрелки окрашены в разные цвета. Допустим, в нашем распоряжении компас, у которого северный конец стрелки окрашен в голубой цвет, а южный — в белый. Проведем следующий опыт: держа компас ровно, поднесем его к верхнему краю ванны. Голубой конец стрелки повернется и укажет прямо на ванну. Теперь положим компас на пол около ванны. На сей раз стрелка повернется в сторону ванны своим белым концом.

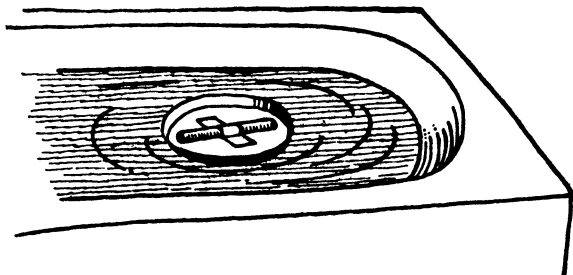
Повторим опыт в разных местах сверху и снизу ванны. Всюду получается один результат: все участки в верхней части ванны притягивают к себе голубой конец компасной стрелки, все участки в нижней части — белый конец.

Чтобы разобраться в поведении компаса, нам потребу-

ются дополнительные сведения, которые мы получим из опытов с прямолинейным магнитом.

Представим себе, что мы положили такой магнит в маленькую плоскую пластмассовую тарелочку и опустили тарелку в середину наполненной водой ванны. Что, по-вашему, произойдет?

Тарелка с магнитом, слегка покачиваясь, начнет поворачиваться и наконец остановится, причем магнит будет указывать в определенную сторону. Если слегка крутануть тарелку и потом отпустить ее, она снова займет такое по-



Р и с. 17. Компас можно сделать и таким способом.

ложение, что концы магнита будут указывать то же направление. Прodelайте этот опыт самостоятельно.

А теперь проверим, показывает ли магнит в тарелке на север. Для этого воспользуемся обычным компасом, но будем держать его подальше от ванны или раковины — ведь мы уже видели, что железо, из которого сделана ванна, влияет на способность магнита указывать направление. Положим компас на ладонь, постараемся держать ее ровно и понаблюдаем за стрелкой. Стрелка повернется, и голубой ее конец укажет определенное направление. Оно близко к северному, но не совсем. Это то же направление, которое указывает магнит в тарелке.

Часто мы вместо того, чтобы сказать: «обращенный к северу» или «обращенный к югу» конец стрелки или полюс, говорим просто: «северный» или «южный» полюс. Это, конечно, очень удобно в повседневной жизни, но сейчас мы увидим, что такое, казалось бы, незначительное изменение порождает изрядную путаницу. Следя за дальнейшими нашими рассуждениями, помните, что обращенный к северу полюс магнита — это не то же самое, что Северный

полюс Земли. Обращенный к северу конец магнита — это тот конец, который, если ему позволить свободно поворачиваться, стремится указывать приблизительно на север. А Северный полюс Земли — это географическая точка на Земле, где проходит воображаемая ось, вокруг которой вращается Земля.

Спутать «обращенный к северу» полюс магнита с «Северным полюсом» Земли то же самое, что назвать охотничью собаку птицей — по той лишь причине, что собака указывает, где прячется птица. Поэтому в дальнейшем помните, что выражения «обращенный к северу» и «обращенный к югу» и слова «север» и «юг» относятся к совершенно разным понятиям.

Стрелка компаса — это магнит, а вращается она свободно потому, что лежит на острие. Магнит в тарелке легко поворачивается из-за того, что плавает в воде. В обоих случаях мы имеем дело с магнитами, которые могут свободно поворачиваться. И вот оба таких магнита устанавливаются в одном и том же определенном направлении: приблизительно на север.

Мы говорим «приблизительно», ибо обращенный к северу конец компасной стрелки не указывает точно на географический Северный полюс, находящийся в центре Арктики. Он указывает в сторону определенной точки в Северной Канаде, которая является одним из двух магнитных полюсов Земли. (Другой магнитный полюс Земли — в Антарктике — притягивает к себе обращенный к югу конец компасной стрелки.)

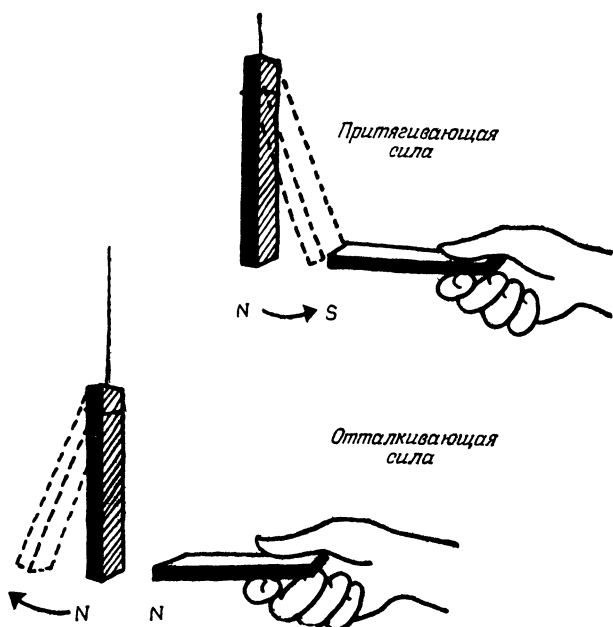
И сразу же возникает вопрос. С какой стати стрелка обязана указывать именно в определенную точку Северной Канады? Почему бы ей не указывать прямо на восток, или прямо на запад, или на Северный полюс, на Нью-Йорк или же Владивосток? Какая сила поворачивает ее в сторону Северной Канады?

Вам, быть может, известно, что у всякого магнита есть обычно два полюса, то есть два места, где магнетизм проявляется сильнее всего. У большинства магнитов, выполненных в виде бруска или полоски, магнитные полюса находятся на концах, хотя можно изготовить и такие магниты, у которых полюса будут располагаться и в других местах.

Если взять два магнита и поднести их близко друг к другу обращенными к северу концами, то можно почувст-

зовать какую-то силу, которая стремится оттолкнуть магниты в стороны. Та же картина наблюдается и с обращенными к югу полюсами. Следовательно, одинаковые полюса отталкиваются.

Если же держать обращенный к северу конец одного магнита вблизи обращенного к югу конца другого магнита, то можно явственно почувствовать, что оба магнита тя-



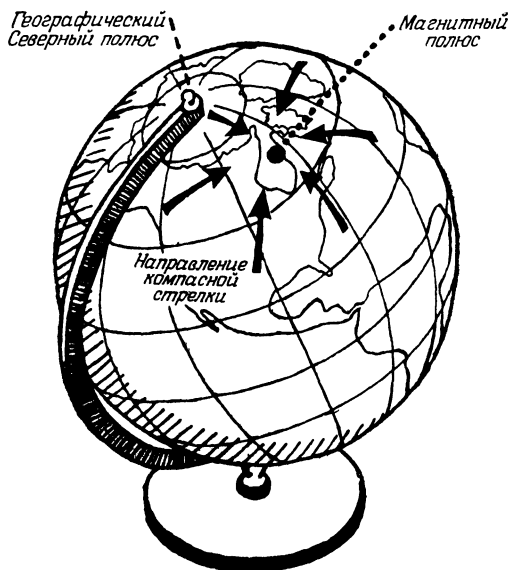
Р и с. 18. Магнитные силы.

нутся друг к другу: обращенный к северу полюс всегда притягивает к себе полюс, обращенный к югу, и наоборот. Итак, разные полюса притягиваются.

Земля — это огромный магнит. Она имеет собственные магнитные полюса — один в Северной Канаде (точнее, под ее поверхностью), другой в Антарктике. Эти магнитные полюса обладают огромной мощностью: они создают такую большую магнитную силу, что ее действие ощущается во всех уголках планеты. Если дать магниту свободно вра-

щаться, например положить его в плавающую тарелку или надеть на острие, то один из его магнитных полюсов повернется в сторону Северной Канады, а другой конец после поворота будет показывать в сторону Антарктики.

Вы, верно, уже уловили, что с названиями здесь что-то не в порядке. Разве обращенный к северу конец магнита — не южный его полюс? Ведь он притягивается к Северному полюсу Земли! И разве обращенный к югу конец



Р и с. 19. Два вида полюсов.

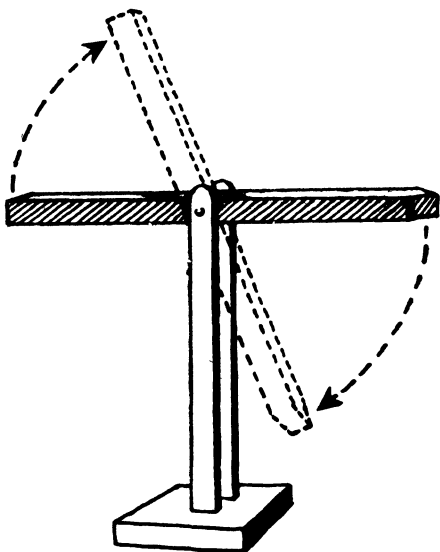
магнита — не северный его полюс? Ведь он притягивается к Южному полюсу Земли! Изрядная путаница, не правда ли? Откуда только она возникла?!

Лет пятьсот — шестьсот назад, когда люди впервые начали применять компас, они придумали названия для концов компасной стрелки. Названия эти казались им совершенно естественными: тот конец, который всегда указывал туда, где, по их мнению, был Северный (географический) полюс, они и называли северным, а другой конец по-

лучил название южного полюса. Как мы уже видели, такой выбор названий ни в коем случае удачным не назовешь.

Однако мы все еще не решили нашу первую загадку. Почему же все-таки северный конец магнитной стрелки (тот, что окрашен в голубой цвет) поворачивается к ванне, если поднести компас к верхней ее части? И почему южный (белый) конец поворачивается к ванне, если держать компас внизу?

О чем говорит тот факт, что северный конец компасной стрелки поворачивается к верхней части ванны? По-види-



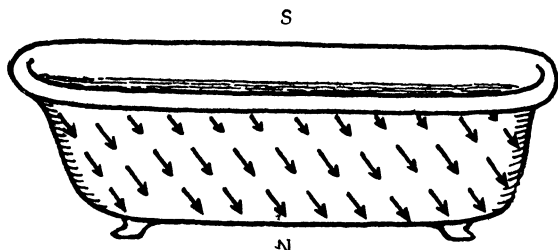
Р и с. 20. Вертикальная компасная стрелка.

мому, верхняя часть ванны представляет собой южный полюс и потому притягивает к себе противоположный, то есть северный, конец магнита. Дно ванны притягивает к себе южный конец стрелки, значит, там должен быть северный полюс.

Магнит в плавающей тарелке и надетая на острие стрелка компаса не совсем свободны. Они могут свободно поворачиваться по кругу на одном и том же уровне, но лишены возможности показывать вверх или вниз. Если установить стрелку компаса в направлении север — юг и сделать так,

чтобы ее концы могли двигаться вверх и вниз, как видно на рис. 20, то нетрудно заметить любопытную деталь: северный конец магнитной стрелки, которая может двигаться вертикально, опускается и притом довольно заметно — примерно на 60—70 градусов. Он ведет себя так, словно его притягивает магнитный полюс, расположенный глубоко *под* поверхностью Канады, а совсем не *на* ее поверхности.

Железо, из которого сделана ванна, — это магнитное вещество, так как крохотные зерна, из которых оно состоит,



Р и с. 21. «Выстраивание» магнитных молекул воды.

сами по себе являются маленькими магнетиками со своими собственными северными и южными полюсами. И эти зерна-магнетики могут поворачиваться как угодно — и горизонтально, и вертикально.

Земное магнитное притяжение заставляет зерна железа постепенно поворачиваться, пока они не установятся своими обращенными на север концами под углом 60—70 градусов к Земле. Эти «обращенные к северу» концы множества мельчайших зерен, повернутые в сторону дна ванны, в целом образуют своего рода большой северный полюс в нижней части ванны. Одновременно южные полюса мельчайших магнитных зерен железа «выстраиваются» наискось кверху, создавая южный полюс в верхней части ванны.

Этим и объясняется загадка ванны-магнита. А что можно сказать о железных радиаторах: у них тоже северные полюса внизу, а южные вверху? Разумеется. Любой неподвижный железный предмет очень быстро намагничивается землей и притом таким образом, что внизу у него появляется северный полюс, а вверху — южный. Даже у зонтика со

стальной ручкой, если дать ему возможность немного постоять, появляются такие магнитные полюса. При желании убедитесь в этом сами. Кстати, заодно можно исследовать и другие железные предметы: шкатулку для иголок и ниток, холодильник, кухонную плиту, стиральную машину, стальную дверцу печки. Интересно, что у вас получится?

Недавно было сделано интереснейшее открытие, которое имеет прямое отношение к нашему рассказу. Оказалось, что у некоторых скал имеются слабые магнитные полюса, которые образовались много миллионов лет назад, когда скалы были извергнуты из Земли в виде расплавленной лавы, а потом остывали и затвердевали. Но среди этих скал есть и такие, у которых «северные» магнитные полюса на самом деле указывают на юг. Это противоречит тому, чего следовало бы ожидать на основании наших магнитных наблюдений.

Какой же вывод необходимо отсюда сделать? Одно из возможных объяснений заключается в том, что некогда, в далеком прошлом, магнитные полюса Земли менялись местами. Полагают, что это могло происходить не один, а несколько раз, возможно, даже много раз. В связи с этим у ученых возникает множество вопросов относительно строения Земли, на которые они и по сей день не нашли однозначных ответов.

Задачи

(ответы будут даны на стр. 93)

1. Предположим, некий школьник, живущий в городе Кито (столица Эквадора), что на самом экваторе, прочитал нашу книгу и захотел проверить, намагничена ли и его ванна северным полюсом внизу и южным вверх. Что он обнаружит?

2. Девочка, живущая в Аргентине, в городе, расположенном на 55 градусов южнее экватора, переписывается с юным жителем города Кито. Тот сообщил ей о результатах своих исследований, и она решила проверить магнетизм своей ванны. Что она обнаружит?

Самостоятельные исследования

1. Догадайтесь, как сделать кончик иглки северным или южным полюсом магнита.

2. Сумеете ли вы сделать магнит с тремя магнитными полюсами?

3. Придумайте, как изготовить магнит с помощью электрического тока.

6. ЧАСЫ И ВАННЫ, ЯЩИКИ И ЛЮДИ

Если вас спросить: «Сколько весит вода в полной ванне?», то вы, пожалуй, и думать над этим не станете. Но, предположим, вас попросили определить вес воды с помощью... часов. Это уже интереснее, верно?

Возьмем литровую кружку или кувшин. Если под рукой не окажется такой кружки, сойдет и обыкновенный граненый стакан. Вольем четыре таких стакана в кувшин и сделаем на этом уровне отметку — это и будет литр.

В старину была такая присказка: «Вешай тут, вешай там — литр всюду килограмм». «Литр» в данном случае означает литр воды. Если верить присказке, литр воды всюду весит один килограмм. Вообще-то это не совсем так. Однако для тех измерений, которые нам предстоят, можно со спокойной совестью принять, что литр воды весит ровно один килограмм.

Откроем кран ванны, но так, чтобы вода лилась не слишком быстро, и поставим нашу литровую посудину под струю. С помощью часов, имеющих секундную стрелку, определим, сколько времени потребовалось для заполнения посуды. Предположим, это заняло 10 секунд. 10 секунд — это $\frac{1}{6}$ минуты. Значит, за каждую минуту — при данной скорости струи — в ванну вливается шесть литров, или шесть килограммов, воды.

Пусть вода течет с прежней скоростью. Откроем водосток, чтобы выпустить воду из ванны, а потом закроем его и заметим время, когда вода начала наполнять пустую ванну. Засечем время, когда ванна наполнилась (вплоть до верхнего отверстия или до заранее выбранной метки). Предположим, на это ушло 40 минут. Тогда, помня о том, что приток составляет шесть килограммов в минуту, мы можем высчитать вес воды в ванне: 6×40 , или 240 килограммов.

Вообще-то говоря, такое малое количество воды вмещается только в небольшую ванну. Для ванны нормальных размеров потребовалось бы не меньше 500 килограммов. Но ждать 40 минут слишком долго. Чтобы ускорить дело, кое-кто захочет, пожалуй, открыть кран до отказа. Тогда для измерений нужно взять емкость побольше, скажем 10-литровый бидон или канистру. Вода в таком бидоне будет весить 10 килограммов.

Предположим, что при более быстром притоке воды для наполнения 10-литрового бидона потребовалось 12 секунд. За одну минуту в ванну вливается $60/12$, или пять раз по 10 литров воды. Следовательно, вес ее составляет 5×10 , или 50 килограммов. Если же нужно 11 минут, чтобы наполнить ванну, то полное количество воды, влившейся в ванну, будет составлять 11×50 , или 550 килограммов.

Какой смысл в том, чтобы взвешивать воду с помощью часов? Вам неясно? Тогда представим себе, как выглядел бы иной способ взвешивания. Вам пришлось бы наполнить ванну водой, потом отсоединить все ведущие к ней трубы, выломать саму ванну из стены и с помощью подъемного крана поставить ее на огромные весы-платформу, которые вы каким-то чудом ухитрились втащить в ванную комнату. После этого вы должны будете взвесить ванну вместе с водой, потом слить воду, взвесить ванну без воды и вычесть вес пустой ванны из веса полной ванны, чтобы узнать вес воды. Теперь вам ясно, что такой способ взвешивания вряд ли удобен на практике!

Можно, конечно, найти вес воды и по частям — с помощью ведра и обыкновенных весов.

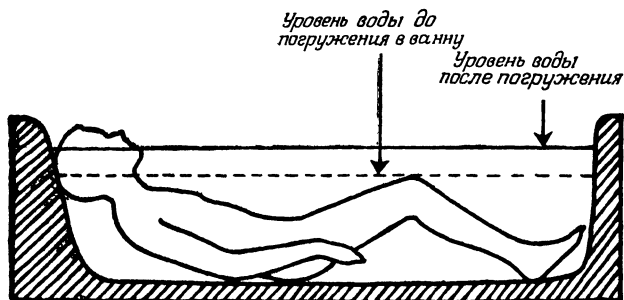
Вначале взвесим ведро. Потом наполним его водой и снова взвесим. Вычтя вес пустого ведра, мы узнаем вес самой воды. Теперь выльем воду в ванну, предварительно закрыв водосток. На сей раз, если мы упорно хотим обойтись без часов, нам придется повторять эту процедуру до тех пор, пока ванна не наполнится. Общий вес воды мы получим, сложив вес воды во всех ведрах.

Так какой же способ легче — взвешивать воду с помощью часов или наполнять ванну ведрами? Если кто-нибудь еще сомневается, можете сами попробовать оба способа. Вы довольно скоро поймете, какой из них лучше.

Теперь попробуем ответить на такой вопрос. Если бы человек имел форму прямоугольного ящика, как, по-вашему, большой ящик из него получился бы или маленький?

Впрочем, нет, поставим вопрос по-иному. Предположим, мы изготовили пустую модель человеческого тела и засыпали внутрь песок. Какой величины понадобился бы ящик, чтобы вместить такое же количество песка: скажем, в метр длиной, шириной и высотой или в 10 сантиметров? Любопытно, часы могут помочь ответить и на этот вопрос.

Многие из вас, вероятно, знают, что объем кубика легко подсчитать, измерив его длину, высоту и ширину рулеткой или линейкой и перемножив все три числа. Например, в кубике, длина, ширина и высота которого составляет



Р и с. 22. Метод измерения вашего собственного объема.

10 сантиметров, содержится $10 \times 10 \times 10$, или 1000 кубических сантиметров.

Но как измерить рулеткой толщину и высоту человека? Какую толщину измерять — самую большую или самую маленькую? Нет, для измерений такого объема рулетка или линейка явно не годятся.

Так, быть может, удобнее измерить объем тела, наполняя его водой из литровой посуды? Вряд ли. Но ведь не пытаться же втиснуть тело в ящик?! Этот способ едва ли можно кому-либо рекомендовать.

Существует, однако, очень простой прием, и заключается он в следующем: заменить объем тела равным объемом воды, а потом измерить этот объем обычным способом. Этот прием известен как «метод вытеснения», так как, погружаясь в воду, мы ее вытесняем. А объем вытесненной воды нетрудно измерить.

Метод вытеснения основан на том, что два различных тела не могут в одно и то же время занимать одно и то

же место. Входя в наполненную ванну и погружаясь в нее, человек своим телом выталкивает воду из того места, которое она раньше занимала. Куда она может уйти? Только наверх. Вот почему по мере того, как человек погружается в воду, уровень воды в ванне поднимается. Теперь все, что нам остается для измерения объема тела, — это отметить уровень воды до и после погружения в ванну, а потом измерить объем «лишней» воды с помощью часов, верно?

Вот как следует поступать и как мы поступим. Нальем в ванну достаточно воды, чтобы можно было погрузиться в нее почти целиком. Прежде чем войти в ванну, сбоку сделаем отметку нижнего уровня воды. Такую отметку можно сделать цветным мелком — он легко стирается. Годится также кусочек клейкой ленты — после окончания опыта его можно отклеить.

Теперь войдем в ванну и погрузимся в нее, насколько сможем — так, чтобы вода не заливала только нос и глаза. Отметим изнутри новый уровень воды — любым способом, каким ухитримся.

После того как отмечены нижний и верхний уровни воды, задача состоит в том, чтобы узнать какой величины объем они ограничивают. Для начала выйдем из ванны. (И оботремся, разумеется!) Обратите внимание — вода опустилась почти до первой отметки. Задача измерения объема тела свелась теперь к нахождению объема воды, который занимает пространство между верхней и нижней отметками сбоку ванны.

Определим этот объем с помощью часов, пользуясь уже известным нам способом. Засечем время и откроем кран. Когда вода польется, наполним сосуд — литровую или полулитровую банку. Заметим, сколько времени потребуется воде, чтобы подняться в ванне до верхней отметки.

Один юный экспериментатор нашел, что его объем составляет 38 литров. А ваш?

Быть может, у кого-нибудь из вас дома найдется картонный ящик — такой, в какие обычно упаковывают радиоприемники. Взглянем на него. Что вы можете сказать об объеме вашего тела: равен он объему этого ящика? А может быть, больше? Или меньше? Как же узнать? Оказывается, это не так уж трудно, если принять во внимание такую, казалось бы, мелкую, но весьма существенную деталь: один литр имеет точно такой же объем, как и 1000 кубических сантиметров.

Предположим, кто-нибудь измерил объем своего тела и нашел, что он равен 38 литрам, или 38 000 кубических сантиметров. Какой величины получится ящик? Попробуем упростить задачу. Для этого примем, что ящик представляет собой куб, то есть все его стороны равны. Тогда нам нужно найти число, которое, если умножить его само на себя три раза, даст 38 000. Или, выражаясь математическим языком, нужно найти корень кубический из 38 000.

Попробуем $10 \times 10 \times 10$. Это составляет 1000 — слишком мало.

Попробуем $20 \times 20 \times 20$. Это составляет 8000 — опять слишком мало.

Попробуем $40 \times 40 \times 40$. Это составляет 64 000 — слишком много.

Попробуем $30 \times 30 \times 30$. Это будет составлять 27 000. Теперь опять слишком мало.

Попробуем $35 \times 35 \times 35$. Это равно 42 875. Ближе к нужному числу.

Попробуем $33 \times 33 \times 33$. Это составляет 35 937 — чуть-чуть маловато.

Попробуем $34 \times 34 \times 34$. Это равно 39 304 — почти то число, которое мы ищем.

Очевидно, ящик длиной 34 сантиметра, шириной 34 сантиметра, высотой 34 сантиметра имеет почти такой же объем, как и человек, у которого объем тела равен 38 литрам. Итак, каждая сторона ящика составляет всего около $\frac{1}{3}$ метра. Не так уж много!

Задачи

(ответы будут даны на стр. 93)

1. В бассейн длиной 20 метров, шириной 8 метров и глубиной 1 метр льется вода со скоростью 4 литра в секунду. За какое время бассейн наполнится?

2. Вода начинает наливаться в 300-литровую ванну со скоростью 16 литров в минуту. Через пять минут кто-то в нижней квартире открыл душ, и скорость струи уменьшилась до 8 литров в минуту. На сколько дольше придется ждать, чтобы ванна наполнилась?

Самостоятельные исследования

1. Утверждают, что литровая банка вмещает четыре граненых стакана. Проверьте, так ли это?

2. Действительно ли 1 литр воды весит 1 килограмм? Попробуйте взвесить литр воды на обычных весах и как можно точнее.

3. Действительно ли в литре такой же объем, как в 1000 кубических сантиметров? Попытайтесь доказать это собственными измерениями.

7. ЗАГАДКА ЗОЛОТОЙ КОРОНЫ

Давным-давно, а точнее 2200 лет назад, жил один греческий ученый, математик, философ и вдобавок большой любитель всяких запутанных загадок, по имени Архимед. Он жил при дворе сиракузского царя Гиерона II.

У царя была золотая корона, и можно не сомневаться, что по торжественным дням он неизменно возлагал ее на себя, чтобы произвести впечатление на своих подданных. Но уж такие они люди, эти цари: Гиерона все время терзала мысль, что его корона сделана не целиком из чистого золота. Если так, значит, золотых дел мастер обманул своего повелителя, подсунув ему второсортную корону.

Можно полагать, что такой беспокойный царь, как Гиерон, уж наверняка догадался бы взвесить золото перед тем, как отдать его мастеру, который делал корону. Ведь тогда ему достаточно было бы проверить вес готовой короны, и он сразу узнал бы, не припрятал ли мастер порядочный кусок золота. Можно даже допустить, что Гиерон именно так и поступил — и обнаружил, что вес несколько не изменился.

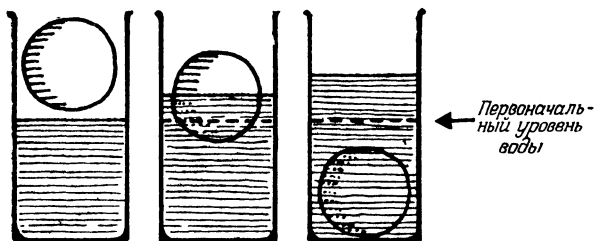
Но Гиерон был хоть и недоверчивый, но сообразительный человек. Так и чудится: вот он уселся и стал про себя рассуждать, следуя за возможным ходом мысли золотых дел мастера: «А ведь я, пожалуй, могу околпачить царя — отложу в сторонку кусок золота, заменю его равным по весу куском серебра, которое стоит гораздо дешевле, и сплавлю золото и серебро вместе. Можно все устроить так, что вес короны будет равен весу золота, которое мне дал царь, а если не переборщить серебра, то сплав и выглядеть будет совсем как золото».

Такая возможность тревожила царя Гиерона. Поэтому он вызвал своего ученого советника Архимеда и поручил ему выяснить, не украдено ли золото именно таким способом.

В один прекрасный день Архимед сидел в своей ванне

и ломал голову над поручением царя. И тут, как утверждают историки, его вдруг осенило, каким образом можно решить эту задачу. Говорят, будто он так обрадовался, что тут же выскочил из ванны и помчался по улицам своего родного города Сиракузы, восклицая на бегу: «Эврика! Эврика!» («Нашел! Нашел!»)

А нашел Архимед соотношение между объемом и весом предмета, погруженного в любую жидкость, например в воду. Оно-то и помогло ему решить задачу.



Р и с. 23. Предмет выталкивает воду.

Возьмем резиновый или пластмассовый мяч или другой какой-нибудь легкий предмет и начнем погружать его в воду. Не правда ли, вода словно бы выталкивает его наверх? В таких случаях говорят, что на мяч действует выталкивающая сила.

Отпустим мяч. Он прямо-таки выскакивает из воды. Значит, выталкивающая сила настолько велика, что может заставить мяч быстро подниматься.

Повторим опыт, но на сей раз возьмем сосуд такого размера, чтобы мяч в нем только-только помещался. Заметим, что при погружении мяча в воду уровень воды поднимается, как показано на рис. 23. В таких случаях говорят, что мяч вытесняет воду. Количество вытесненной воды называется водоизмещением. Водоизмещение по своему объему в точности соответствует объему погруженного в воду предмета, иными словами, объем такого предмета равен объему вытесненной им воды. В предыдущем разделе мы как раз этим и воспользовались, чтобы измерить собственный объем.

Возьмем мяч побольше (то есть большего объема) и повторим опыт с ним. Теперь, чтобы удержать мяч под водой,

нам придется давить на него сверху гораздо сильнее. Выталкивающая сила воды стала больше, так как и объем мяча, или его водоизмещение, больше. Архимед как раз и открыл (и сформулировал в своем законе), что выталкивающая сила, которая толкает погруженный в воду предмет наверх, равна весу воды, вытесненной (вытолкнутой в стороны) этим предметом. Если, например, мяч вытесняет один килограмм воды, то его выталкивает наверх сила в один килограмм. Если он вытесняет два килограмма, выталкивающая сила также равна двум килограммам.

Почему же резиновый мяч, брошенный в воду, плавает? Когда мяч падает, его тянет вниз сила притяжения Земли. Чем глубже он погружается в воду, тем больше воды вытесняет, выталкивает в стороны. И тогда, согласно закону Архимеда, выталкивающая сила становится все больше, потому что увеличивается количество вытесненной воды. Величина выталкивающей силы неизменно соответствует весу вытесненной воды. Поэтому по мере того, как мяч погружается, выталкивающая сила возрастает. И в конце концов, когда направленная вверх выталкивающая сила в каком-то положении сравняется с направленным вниз весом мяча, обе силы уравновесят друг друга, и мяч так и будет плавать в этом положении.

Иные предметы бывают настолько тяжелыми, что даже если их полностью погрузить в воду, выталкивающая сила окажется меньше их веса. Именно так происходит, например, с любым предметом, сделанным из сплошного железа. В этом случае выталкивающей силы не хватает, чтобы уравновесить общий вес такого предмета, и в результате он не может плавать. Его будет тянуть вниз неуравновешенная сила тяжести, и он пойдет ко дну.

Еще раз об украденном золоте

Но вернемся к задаче Гиерона, которая стала задачей Архимеда. Каким образом ученому удалось отличить чистое золото от золота с примесью, которое на вид выглядело точно так же?

Оказывается, золото очень плотное вещество. Если взвесить одинаковое по объему количество золота и воды, то получится, что золото в 19,3 раза тяжелее воды. Поэтому говорят, что удельный вес золота равен 19,3. Серебро

тоже тяжелое вещество, но не такое тяжелое, как золото. Его удельный вес равен 10,5. Это значит, что оно весит в 10,5 раз больше, чем равное по объему количество воды. То, о чем мы сейчас говорим, можно сформулировать иначе. Допустим, мы взяли одинаковое по весу количество воды и золота. Чей объем больше? Раз золото намного тяжелее воды (в 19,3 раза), ему потребуется всего $1/19,3$ объема, чтобы сравняться по весу с водой.

Теперь мы знаем, что если два предмета (тела) весят одинаково, то предмет (тело) с меньшим объемом имеет больший удельный вес.

Если из царской короны забрали кусок золота и заменили его таким же по весу куском серебра, то корона все равно будет весить столько же, сколько первоначально весило все золото, и никаким взвешиванием не определить, украдено золото или нет. Но если в короне имеется хоть немного серебра, то ее удельный вес будет чуть меньше, чем у чистого золота, поэтому она будет иметь чуть больший объем, чем такое же по весу количество чистого золота.

Историки не уточняют, как именно поступил Архимед. Он мог поступить, например, таким образом. Представим себе, что Архимед взял немного золота из того же слитка, откуда его раньше взяли для изготовления короны, и подобрал такой кусок, чтобы он весил в точности столько же, сколько весила корона. При этом он мог рассуждать так: если корона сделана из чистого золота, то она вытеснит ровно такой же объем, что и одинаковый по весу кусок чистого золота. А если объем, или водоизмещение, короны окажется больше, то можно быть уверенным, что золото в короне смешано с веществом меньшего удельного веса, таким, например, как серебро.

Какой бы способ Архимед ни применил, факт остается фактом: удельный вес короны, как он обнаружил, действительно оказался меньше, чем чистого золота. И всем стало ясно, что придворный золотых дел мастер сжульничал.

Нельзя не пожалеть этого бедного ремесленника, которого, несомненно, ждал печальный конец, и все из-за Архимеда. Но вместе с тем приходится признать, что в добавление ко всем прочим своим заслугам Архимед может претендовать на почетное звание первого в мире ученого-следователя.

Загадка водяной капли

Можно не сомневаться, что многим из вас, вдохновленным примером Архимеда, захочется сделать что-нибудь похожее. Если так, то для тренировки попробуем расследовать маленькую тайну, которую мы сформулируем в виде научной загадки.

В нашем распоряжении:

ванна, наполненная водой;

маленький пузырек с широким горлышком;

несколько мелких монет (вес каждой монеты 1 грамм);

цветной мелок или мягкий карандаш.

Требуется с помощью этих — и только этих — предметов найти вес одной капли воды.

Прежде всего подумаем, как это можно сделать. Ну, как, сообразили? Тогда сравните ваши соображения с теми, которые излагаются ниже.

Погрузим пузырек в воду — так, чтобы горлышко осталось над водой — и начнем наполнять его монетами, штука за штукой, до тех пор, пока пузырек не будет плавать стоя.

Теперь добавим еще одну монетку. В случае необходимости чуть встряхнем монеты, чтобы пузырек все время плавал вертикально. На наружной его стороне отметим карандашом или мелом уровень воды.

Вытащим из пузырька одну монету. Пузырек всплывет чуть выше. Теперь с помощью пипетки начнем добавлять по каплям воду, пока пузырек не погрузится до прежнего уровня (до вытаскивания монеты). Сосчитаем количество добавленных капель.

По закону Архимеда, выталкивающая сила зависит только от количества вытесненной воды. Если пузырек оба раза погружается до одинакового уровня, значит, количество вытесненной воды и выталкивающая сила оба раза одни и те же. Следовательно, и вес, уравновешенный выталкивающей силой, оба раза одинаков. Иначе говоря, мы заменили вес одной мелкой монеты равным ему весом водяных капель.

Чтобы решить нашу задачу, вспомним, что каждая из монет весит ровно один грамм. Допустим, нам понадобилось 10 капель воды, чтобы восстановить первоначальный уровень, на котором плавал пузырек. Теперь нам известно, что 10 капель воды весят столько же, сколько одна мелкая

монета, то есть один грамм. Значит, одна капля весит $1/10$ грамма. Все очень просто, правда?

Задачи

(ответы будут даны на стр. 94)

1. Почему спасательный круг не дает человеку утонуть?

2. В ведро с водой налили немного керосина, и он плавает на поверхности воды. Потом туда же бросили кусок воска и увидели, что воск плавает на границе между водой и керосином. Как объяснить, почему?

3. Однажды царь приказал Архимеду установить, сколько потребуется золота, чтобы оно по весу равнялось весу слона. Но таких весов, чтобы взвесить этот громадный груз, нигде не оказалось. Интересно, каким же способом — и довольно простым — Архимед решил эту задачу?

Самостоятельные исследования

1. Как доказать, что закон Архимеда действительно справедлив?

Достаточно ли проверить закон на одном каком-нибудь предмете или для этого потребуется много предметов?

8. ЖАРА И ХОЛОД

А что если при очередном купании мы не будем торопиться открывать кран? Залезем голышом в пустую ванну и попробуем посидеть — не в воде, а просто так. Брр... Ну и холодина!

Но разве ванна сама по себе холодная? Ну-ка, подумаем. Если бы ванна на самом деле была холоднее, чем воздух или окружающие предметы, она постепенно нагрелась бы от них и достигла той же температуры.

Нет, ванна такая же теплая, как и все вокруг. Это можно проверить термометром. Подержим его в комнате несколько минут, чтобы он нагрелся до комнатной температуры. Какую температуру он показывает? Теперь положим термометр на дно пустой ванны таким образом, чтобы его

кончик прикасался к ванне. Подождем несколько минут, а потом посмотрим, какую температуру он показывает теперь. Ну как, разве показания изменились?

Но если пустая ванна ничуть не холоднее всего остального в ванной комнате, почему же в ней ощущается такой холод?

Наше тело плохо приспособлено к тому, чтобы ощущать температуру саму по себе. Оно ощущает только собственное нагревание или охлаждение. Если тело очень быстро теряет тепло и кожа очень быстро охлаждается, возникает ощущение холода. Если тело очень быстро нагревается, возникает ощущение тепла.

Мы теплокровные, то есть наше тело обычно сохраняет некую постоянную температуру — около 37° по Цельсию. Нормальная комнатная температура примерно $20-22^{\circ}$. И так как тело почти на 15° теплее всего, что находится в комнате, нам приходится непрерывно отдавать тепло наружу.

Почему же в таком случае в комнате с температурой 21° человек чувствует себя лучше, чем в комнате с температурой в 30° ? Человеку, чтобы жить, необходимо «сжигать» пищу, а при этом обязательно образуется тепло. Если этому теплу позволить накапливаться внутри организма, температура тела будет непрерывно повышаться. Когда она достигает 40° , человек начинает чувствовать себя прескверно. Если же температура повышается до 43° , даже на короткое время, обычно наступает смерть; поэтому, чтобы такого не случилось, тело непрерывно должно отдавать тепло наружу.

В комнате с температурой 20° мы чувствуем себя нормально, потому что при этой температуре скорость отдачи тепла наружу почти равняется скорости образования в организме нового тепла за счет «сжигания» пищи.

Ну, а что случится, если войти в горячую парную, где температура воздуха около 75° ? Как вообще человек может существовать при такой температуре? А вот как. Открываются поры потовых желез, и на коже выступает большое количество пота. Пот быстро испаряется в воздухе. Благодаря этому тело охлаждается — по крайней мере настолько, чтобы продержаться при температуре в 75° минут 15—30. Без такого охлаждающего действия испарения ни один человек не мог бы перенести температуру выше 35° .

Охлаждающее действие испарения нетрудно наблюдать самому. Достаточно смочить водой тыльную сторону ладони и дать воде испаряться. Рука холодеет, верно?

Можно также попробовать обернуть кончик термометра кусочком ваты, а потом смочить вату водой комнатной температуры. Понаблюдаем за показаниями термометра по мере того, как вода будет испаряться из ваты. Температура понизится на $10-20^{\circ}$, а то и больше. Когда же вся вода испарится, температура снова поднимется до комнатной, так как охлаждающего действия больше не будет.

А вот другой опыт, который можно проделать тут же, в ванне. Допустим, на сей раз мы принимаем ванну как обычно, вместо того чтобы отвлекаться на посторонние исследования свойств тепла. Наполним ванну теплой водой, сядем в нее, поплещемся как следует, быть может, даже помоемся немного. Ну вот и все! Встаем, хватаем полотенце и быстро вытираемся... Минуточку! Что, если сегодня, в порядке исключения, не бросаться сразу к полотенцу, а минуту-другую постоять, чтобы увидеть (вернее, почувствовать), что произойдет?

Вам не придется стоять слишком долго. Холод почувствуется очень скоро. А почему? Да потому, что испарение с поверхности влажного тела быстро его охлаждает.

Мы уже узнали, каким образом человек управляет температурой своего тела в случае перегревания. А как он поступает, если температура падает и становится очень холодно? При низкой температуре скорость отдачи тепла наружу гораздо выше, чем при температуре 20° . Тело начинает охлаждаться слишком быстро, и его температура грозит упасть ниже тех 37° , при которых организм человека функционирует нормально. Это уже опасно. Температура тела не может понижаться слишком долго без ущерба для организма. Существует два способа справиться с этой угрозой: либо тело станет производить больше тепла, «сжигая» больше пищи, либо же оно найдет способ уменьшить отдачу тепла.

Теплокровные животные выработали множество приемов, уменьшающих потерю тепла в холодную погоду. У некоторых из них с наступлением зимы шерсть становится гуще. Некоторые птицы распушивают перья, чтобы соорудить себе временную толстую «шубу», которая удерживает воздух около тела. Благодаря этому тепло их тела сохраняется. Другие животные решают ту же задачу; сворачи-

ваясь клубком, как можно плотнее, и впадая в глубокую зимнюю спячку. Круглый, как шар, клубок — самая компактная форма, она меньше всех других позволяет соприкасаться с наружным холодным воздухом.

Спячка сопровождается резким падением температуры тела, так что оно приближается по температуре к окружающей среде. При этом сильно уменьшается отдача тепла. Кроме того, организм животного прекращает всякие намеренные движения и действия, в связи с чем уменьшается потребность в энергии. В результате того ограниченного количества пищи, которое запасено в организме, оказывается вполне достаточным, чтобы вырабатывать тепло на протяжении долгих зимних месяцев.

Люди выработали собственные способы, позволяющие им уберечь тело от потерь тепла в холодную погоду. Мы строим дома и отопливаем их, создавая таким образом ту температуру, при которой хорошо себя чувствуем. Выходя наружу, мы закутываемся в одежду, которая уменьшает скорость отдачи тепла из организма и не дает нам замерзнуть.

Из какого материала следует делать одежду? Что можно сказать об одежде, сплетенной из стальных проволочек? У нее, разумеется, есть свои достоинства — например, прочность и долговечность. Но зато сколько недостатков! Одним из них, к примеру, было бы ощущение, будто сидишь голышом в пустой ванне. Стальная одежда казалась бы холодной при 20°, очень холодной — при 15° и невыносимо холодной — при 10°.

Вот мы и вернулись к нашему исходному вопросу. Почему, когда сидишь раздетым в ванне, ощущение совсем не такое, как если бы сидел в кровати? Ведь и ванна, и кровать имеют одинаковую комнатную температуру — около 20°. Но в ванне раздетому человеку холодно, а в кровати он чувствует себя хорошо. Ясно, что тут должно быть какое-то различие: ванна отнимает тепло у человеческого тела гораздо быстрее и энергичнее, чем одежда или кровать.

Вспомним сказанное в разделе 5 о том, что ванна сделана из железа, покрытого тонким слоем глазури. Железо, как и все металлы, — хороший проводник тепла; это значит, что оно довольно легко пропускает сквозь себя тепло. А вот вата и шерсть — плохие проводники тепла (изоляторы). Они всячески препятствуют прохождению тепла.

Ощущение холода в ванне возникает из-за того, что железо быстро пропускает тепло, идущее с поверхности тела. На простыне же или под шерстяным одеялом холод почти не ощущается, потому что эти предметы не дают теплу быстро уходить из тела.

Попробуем проделать следующий опыт. На одну горелку газовой плиты поставим металлическую сковородку, а на другую — сосуд из жаропрочного стекла (если в доме найдется такой). Нальем в них немного воды. Одновременно зажжем обе горелки иотрегулируем небольшой огонь. В какой посуде вода закипит раньше? Мы увидим, что сначала она закипит на металлической сковороде, так как сквозь металл тепло проходит намного быстрее, чем сквозь стекло. Жаропрочное стекло довольно плохой проводник тепла, и стеклянная посуда нагревается изнутри намного медленнее.

Воздух очень плохой проводник тепла, если только он не движется. Движение воздуха помогает теплу переходить от одного тела к другому — в этом легко убедиться, подержав руку над горелкой. Следовательно, такие вещества, внутри которых удерживается воздух, превосходно останавливают утечку тепла, и про них можно сказать, что они хорошие изоляторы. Можно, например, изготовить для туристского похода переносный холодильник из пеностирола — вспененной пластмассы, внутри которой имеется множество пустот, заполненных воздухом. Если поставить в такой холодильник бутылку лимонада, она долго будет оставаться холодной, потому что тепло снаружи будет проникать очень медленно. Минеральная шерсть, стекловата или асбест тоже в основном наполнены находящимся внутри воздухом; эти материалы используются для изоляции домов, чтобы удерживать тепло: зимой — внутри, а летом — снаружи.

Напротив, металлы используются для изготовления таких предметов, как кастрюли или радиаторы отопления, когда нужно, чтобы тепло быстрее проходило сквозь стенки.

Можно установить, как проводят тепло различные предметы в ванной комнате. Для этого достаточно потрогать их рукой. Попробуем на ощупь деревянную дверь, полку, металлический радиатор, стеклянную дверную ручку, кафельный пол, кафельную стену, зеркало, оштукатуренную стену, сухое полотенце, мохнатую купальную простыню,

бумажную обертку из-под мыла. Какой из этих предметов кажется вам холодным? Такие предметы (вещества) — хорошие проводники тепла; это видно из того, что рука быстро отдает тепло, когда к ним прикасается. Те же предметы, которые не кажутся холодными, — изоляционные материалы; они уменьшают отдачу тепла с поверхности руки.

Что такое тепло

Все сведения, которые вы сейчас получили, уже, наверное, заставили кое-кого призадуматься. Каким образом тепло проходит сквозь сплошной металл? Почему от испарения телá охлаждаются?

Много лет понадобилось ученым, чтобы разработать такую теорию, которая исчерпывающе отвечает на все эти и подобные вопросы. Теория эта основана на свойствах молекул — невероятно малых частичек, из которых состоит любое вещество. Молекулы непрерывно движутся, даже в твердом веществе, то и дело сталкиваясь друг с другом. Тем не менее они не вылетают из твердого вещества благодаря сильному притяжению со стороны других молекул.

Чем быстрее движутся молекулы в твердом веществе, тем выше его температура. Иными словами, тепло обусловлено движением молекул. То же справедливо и для жидкости, и для газа, разве что в них молекулы могут двигаться посвободнее, причем в газах эта свобода больше, чем в жидкости.

Как же все-таки тепло проходит сквозь сплошное вещество, например через металлическое дно кастрюли? В этом нет ничего таинственного, если только помнить, что тепло — это один из видов движения, а не какое-то особое вещество вроде воды или воздуха. Движение молекул — вот что передается через металл!

Попробуем разобраться, что происходит, если кастрюлю с супом поставить на плиту. Движение молекул горящего газа или раскаленной электрической спирали намного быстрее обычного. Потому-то они и горячие, газ или спираль. Эти быстрые молекулы ударяются о молекулы металла на внешней стороне доньшка кастрюли, и те в свою очередь начинают двигаться быстрее. Затем уже они соударяются с молекулами, находящимися повыше, и те начинают двигаться быстрее. Вот так, от молекулы к мо-

лекуле, это быстрое колебательное движение передается через металл к жидкости в кастрюле.

Теперь объясним, почему происходит охлаждение, когда вода или иная жидкость испаряется. Жидкости отличаются от твердых веществ тем, что в них молекулы могут отрываться друг от друга и двигаться сами по себе. Сил притяжения между молекулами уже недостаточно, чтобы заставить каждую молекулу «танцевать» около одного определенного места, словно на привязи, как это происходит в твердом теле. Однако силы притяжения между молекулами в жидкости все еще достаточно велики, чтобы удерживать их вместе, как одно целое, внутри сосуда.

Во время своих «блужданий» молекулы в жидкости сталкиваются друг с другом; их скорость настолько велика, что можно даже сказать: они бомбардируют друг друга. Время от времени какая-нибудь молекула, находящаяся вблизи поверхности жидкости, в результате одного из этих ударов получает такую скорость, что выскакивает из жидкости в воздух. Сумеет ли она преодолеть силу притяжения со стороны тех молекул жидкости, которые находятся внизу, под нею? Это зависит от того, как быстро она летит. Иные молекулы движутся достаточно быстро, так что могут полностью оторваться от жидкости и стать частицами газа или пара. Они-то и испаряются.

Заметим, что при испарении из жидкости уходят самые быстрые молекулы. Какие же остаются? Очевидно, те, что движутся медленнее. Но более медленные молекулы означают более низкую температуру. Поэтому вода будет становиться холоднее. Если случится так, что вода будет испаряться с влажной кожи человека, то ему станет довольно прохладно.

Молекулярная теория тепла, с которой мы сейчас познакомились, насчитывает почти полтора столетия. С момента ее появления тысячи ученых проверяли теорию сотнями различных способов. В настоящее время уже почти нет никаких сомнений в том, что она верна, и все ученые считают молекулярную теорию тепла правильной.

Задачи

(ответы будут даны на стр. 94—95)

1. Что быстрее охлаждается — наполненная горячей водой ванна или стакан горячей воды?

2. Удастся ли вам придумать три способа, позволяющих ускорить испарение жидкости? Как объяснить, почему каждый из них помогает испарению?

3. Почему в сырую погоду теплее, чем в сухую?

Самостоятельные исследования

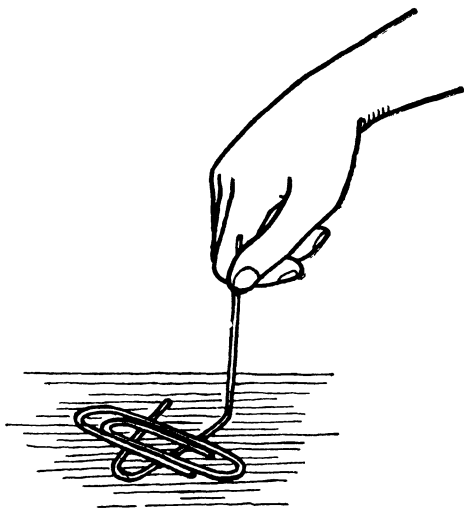
1. Разберитесь в охлаждающем действии испарения в холодильнике.

2. Придумайте и смастерите ящичек, в котором кусок льда не растаял бы полностью и через 10 часов.

9. ПУЗЫРЬКИ

Вам когда-нибудь приходилось купаться в пене? Нет? Обязательно попробуйте.

В продаже имеются специальные пенящиеся растворы и порошки, которые образуют в воде пузыри. Если кто-либо из вас дома имеет такой порошок или раствор, воспользуйтесь им согласно инструкции, и в ванне получится целая гора пены. Отлично можно поразвлечься!



Р и с. 24. Скрепка «плавает» в воде.

Но не вечно же только забавляться пузырьками в ванне! Наступает момент, когда интереснее заняться исследованиями.

Посмотрим на образующиеся пузырьки. Большие они или маленькие? Круглые или похожи на коробочки? Легкие или тяжелые? Быстро ли исчезают? И вообще, что это за штука — пузыри? Как они возникают?

Выяснение этих вопросов мы начнем с того, что пустим маленькую канцелярскую скрепку «плавать» в ванне или чашке. Да, да, именно так — пустим скрепку плавать в воде. Пойдите, но ведь скрепка металлическая. Как же она может плавать?

Разогнем одну скрепку, как показано на рис. 24, чтобы получилось нечто вроде маленького ухвата, и положим на нее другую скрепку — тоже как показано на рисунке. Аккуратно опустим эту скрепку на воду. Если делать все очень осторожно, то скрепка так и останется на поверхности воды, даже когда «ухват» опустится вниз.

Теперь попробуем опускать скрепку наклонно. На сей раз, как и следовало ожидать, она пойдет на дно. Значит, раньше ее что-то поддерживало — что?

Из предыдущего раздела мы узнали, что все вещества состоят из мельчайших частиц, называемых молекулами. Если молекулы находятся близко друг к другу, они притягиваются. В твердом веществе притяжение настолько велико, что молекулы «сцеплены» все вместе и нужна изрядная сила, чтобы оторвать их друг от друга и таким образом отделить кусок вещества.

В жидкости притяжение не так велико, но оно существует и вполне ощутимо. В этом легко убедиться, опустив в воду карандаш, а затем вынув его. На кончике карандаша окажется капля воды, которая как бы прилипла к дереву и ведет себя вопреки закону тяготения. Кажется, будто неведомая сила притягивает каплю к карандашу. Этой силой и является притяжение между молекулами воды и молекулами дерева.

Поднесем карандаш к листку вощеной бумаги и стряхнем каплю на листок. Обратите внимание на то, какую точную окружность образует на вощенке наружная граница капли. Интересно также, что в центре капли вода чуть приподнимается над бумагой таким маленьким горбиком. Совершенно очевидно, что внутри водяной капли существует какая-то сила притяжения, стягивающая все моле-

кулы капли в единое целое. Сила, с которой молекулы притягиваются друг к другу, и придает капле округлую форму, ибо сила эта стягивает все молекулы на внешней поверхности как можно ближе к центру капли. Эта сила называется поверхностным натяжением. Она заставляет расположенные на поверхности жидкости молекулы плотнее прижиматься к внутренним молекулам. Таким образом, поверхность действует как пленка, которая стягивает всю массу капли в одно целое.

Теперь, очевидно, всем понятно, почему, говоря о «плавающей» скрепке, мы написали слово «плавать» в кавычках. Скрепка держится на поверхности воды вовсе не с помощью выталкивающей силы, как держится, например, спасательный круг. Она не идет на дно только потому, что вес ее не позволяет ей прорваться сквозь поверхностную пленку, созданную притяжением между молекулами воды.

Приглядимся, что происходит с водой вблизи скрепки, когда та лежит на водной поверхности. Смотрите, вода слегка «прогнулась» под скрепкой. Такое впечатление, будто вся поверхность воды покрыта тонкой упругой пленкой, которая поддерживает скрепку. На самом деле, конечно, никакой отдельной пленки нет, а имеется поверхностное натяжение, которое не позволяет чересчур легкой скрепке прорваться внутрь.

Точно так же могут держаться на поверхности и многие другие легкие металлические предметы, которые обычно тонут в воде. Для наглядности можно проделать опыты с кусочком алюминиевой фольги, с небольшим ситечком, с продырявленным во многих местах обломком тонкой металлической терки. Если их осторожно положить на воду, все эти предметы останутся на поверхности.

Многие насекомые используют поверхностное натяжение, чтобы, держась на воде, скользить по поверхности прудов и ручьев. Вес этих насекомых столь незначителен, что они могут «ходить» по воде.

Пузырьки в жидкости образуются тоже благодаря поверхностному натяжению. Чтобы понять, как это получается, попробуем сами образовать пузырьки, пустив сильную струю из крана прямо в воду в ванне. Там, где вода вспенивается, возникают пузырьки. Однако они очень недолговечны и тут же лопаются. Стоит закрыть кран — и уже через несколько секунд пузырьки исчезают.

Когда вода льется из крана, она смешивается с возду-

хом и часть его уносит с собой. Потом она смешивается с водой, уже налитой в ванну, неся с собой воздушные пузырьки-глобулы. Эти глобулы тотчас оказываются под поверхностью воды, а падающая сверху струя отталкивает их во все стороны. Постепенно пузырьки поднимаются к поверхности неподалеку от того места, где падает струя. Поднимаясь, каждый из них натягивает поверхностную пленку, но не может ее разорвать из-за поверхностного натяжения. Вот так и образуются воздушные глобулы, покрытые тонкой пленкой молекул воды.

Если проследить за тем, как струя падает в ванну, можно заметить, что в обычной воде пузырьки уже через секунду-другую лопаются, а снизу на смену им поднимаются новые. Стоит, однако, добавить к воде немного мыла или стирального порошка, как пузыри сохраняются очень долго. В чем дело?

Попробуем произвести следующий опыт: заставим скрепку лежать на поверхности воды в чашке, а потом добавим в воду немножечко стирального порошка (или мыльного раствора), но не возле самой скрепки, а чуть подальше. Пройдет немного времени, и скрепка вдруг пойдет на дно. Это вызвано тем, что стиральный порошок постепенно растворяется в воде и ослабляет поверхностное натяжение настолько, что оно более не в состоянии удерживать скрепку.

А вот еще один способ показать, что стиральный порошок или мыло ослабляют поверхностное натяжение. Нужно бросить немного порошка или крохотный кусочек мыла в воду между двумя плавающими в ней — примерно в сантиметре друг от друга — спичечными коробками. Коробки отпрянут в стороны, словно их что-то дернуло. Их и в самом деле дернуло: порошок (или кусочек мыла) ослабил поверхностное натяжение воды между коробками. Поверхностное натяжение за коробками стало больше, чем между ними, и растянуло коробки в стороны.

Насекомые из рода *Stenus* не только шагают по воде, используя поверхностное натяжение, но и умеют применять эту силу, чтобы толкать самих себя. При передвижении насекомые касаются брюшком воды, а на кончике брюшка имеется отверстие и оттуда сочится жидкость, ослабляющая поверхностное натяжение. Более сильное натяжение спереди тянет насекомое вперед. Чтобы остановиться, насекомому достаточно всего лишь приподнять

брюшко над водой или прекратить выделение жидкости.

Итак, мы установили, что простая вода имеет большее поверхностное натяжение, чем вода, в которой растворен стиральный порошок или мыло. А теперь постараемся представить себе воздушную глобулу, окруженную со всех сторон тонким слоем воды, иными словами, пузырь. Если поверхностное натяжение велико, как в случае чистой воды, то наружный слой воды довольно сильно давит внутрь пузыря и сжимает находящийся в нем воздух. Сжатый воздух стремится вырваться сквозь поверхностную пленку в любом слабом месте, и в результате пузырь лопается. Но если поверхностное натяжение невелико, то воздуху легче растянуть поверхностную пленку. У воздуха меньше причин прорываться наружу. Тогда пузыри сохраняются дольше.

В растворах моющих веществ маленькие пузырьки, или пена, могут сохраняться довольно долго, иной раз даже слишком долго. Когда такой раствор стекает в сточный колодец или канализационную трубу, образовавшиеся в нем пузырьки пены могут сохраняться длительное время. Пена может забить отстойники, очистные фильтры или засорить поля орошения. Кроме того, она нарушает жизнедеятельность бактерий, играющих важную роль в очистке воды. Часто в реках, загрязненных отходами домашней стирки, можно видеть большие хлопья пены.

В последние годы эта опасность стала настолько серьезной, что многие предприятия вынуждены были «подавить» излишнюю пенистость выпускаемых ими моющих средств. Кстати, это нисколько не сказывается на моющих способностях. Единственная причина, по которой моющим средствам придают способность к пенообразованию, состоит в том, что реклама убедила людей, будто пенистость как-то связана с моющими качествами. На самом же деле моющая способность мыла и стирального порошка обусловлена тем, что они помогают воде смачивать частицы пищи и других жирных веществ, которые обычно водой не смачиваются. Молекула моющего вещества одним своим концом всегда стремится прилипнуть к воде, другим так и тянется прилипнуть к молекулам жира. В результате такая молекула образует как бы «молекулярный мостик», с помощью которого вода и жирные вещества получают возможность соединиться друг с другом. Поэтому вода, в которой растворено мыло или стиральный порошок,

приобретает способность растворять жирные вещества, а следовательно, смывать их с кастрюль, тарелок, рук и ткани.

Силы, действующие между молекулами и создающие поверхностное натяжение, а также пузыри играют важную роль и во многих других явлениях. Водоплавающие птицы — например, лебеди или утки — в воде остаются сухими, потому что их перья покрыты слоем жира. Вода не смачивает (не обволакивает) жирную поверхность, так как силы притяжения между молекулами воды и жира намного меньше, чем силы притяжения между молекулами самой воды. Но если какой-нибудь незадачливой утке случится сесть на воду, в которой содержится слишком много мыла или другого моющего вещества, то притяжение между молекулами жира на ее перьях и молекулами мыла в воде приведет к тому, что между жиром и водой образуются «молекулярные мостики», и утка вымокнет насквозь. Добавочный вес воды, налипшей на перья птицы, может даже привести к тому, что утка начнет тонуть и пойдет на дно.

То же может произойти и с жуком-плавунцом, умеющим ходить по воде. Он также утонет, если в воде будет слишком много мыла.

Вот куда завели нас пузыри — к намокшим уткам и жукам. Что-то часто мы кончаем совсем не тем, с чего начинали. Но это как раз одна из причин, почему так интересно изучать науку.

Задачи

(ответы будут даны на стр. 95)

1. Если с помощью соломинки надуть пузырь, а затем вытащить соломинку изо рта, пока пузырь еще на ней держится, что станет с пузырем?

2. Узкая пробирка доверху наполнена водой. Что произойдет с водой, если на ее поверхность осторожно положить канцелярскую скрепку?

Самостоятельные исследования

1. Можно непосредственно измерить поверхностное натяжение, если определить, какая сила требуется для того, чтобы оторвать от поверхности воды легкий плоский

квадратик или кружок. Силу эту можно измерить с помощью точных весов, изготовленных из куска толстой проволоки длиной примерно 40 сантиметров. Слегка изогните проволоку посредине и подвесьте ее в самом центре на нейлоновой леске, так чтобы проволока могла свободно качаться. Вместо гирек можно использовать канцелярские скрепки или другие легкие предметы. Подвесьте их на одном конце проволоки, пока они не поднимут квадратик или кружок, прикрепленный к другому концу.

С помощью такого устройства попробуйте сравнить между собой поверхностные натяжения различных жидкостей. Определите также, что происходит с поверхностным натяжением воды, если в ней растворить соль, сахар и другие вещества.

2. Научитесь делать большие пузыри, растворяя в воде стиральный порошок. Очень хорошие пузыри получаются также в том случае, если к мыльной воде добавить глицерин.

Каждый из вас, бесспорно, умеет пускать пузыри с помощью соломинки или трубочки. Для этой цели годятся также металлическая пластинка или пластмассовая кружка с отверстиями. К примеру, проволочная сетка (с отверстиями не меньше сантиметра) великолепно подходит для этого. Чтобы получить пузыри, достаточно просто погрузить такую сетку в мыльный раствор и покачивать ее то в одну, то в другую сторону.

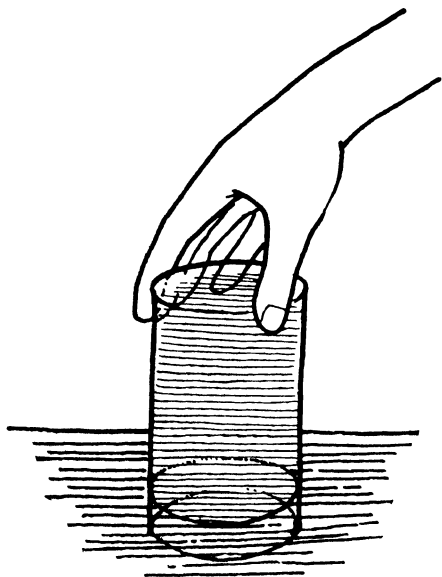
10. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Как, по-вашему, плавая в океане, рыба ощущает, что вокруг нее вода? А собака чувствует, что прогуливается по дну воздушного океана?

«Привычка порождает безразличие» или, по крайней мере, отсутствие ощущений. Рыба, которая в воде родилась и живет всю свою жизнь, наверняка не замечает воду вокруг себя и совершенно не ощущает давления воды, вызванного ее тяжестью. Точно так же собака не замечает, что ее окружает воздух и что он оказывает изрядное давление на ее тело. Да и мы бы этого не заметили, если бы не услышали от кого-нибудь или не прочитали об этом в книге.

Воздух дает о себе знать только в особых случаях. То вдруг он начинает быстро двигаться, как бывает при встречном ветре, то сгущается в облако и становится видимым. Но, пожалуй, самый лучший способ убедиться в том, что воздух действительно имеется,— это понаблюдать за тем, как он своей тяжестью давит на находящиеся внизу предметы.

Возьмем высокий пластмассовый стакан или другой какой-нибудь сосуд и полностью погрузим его в воду в ванне. Подождем, пока стакан наполнится водой, а потом



Р и с. 25. «Вытаскивание» воды из ванны.

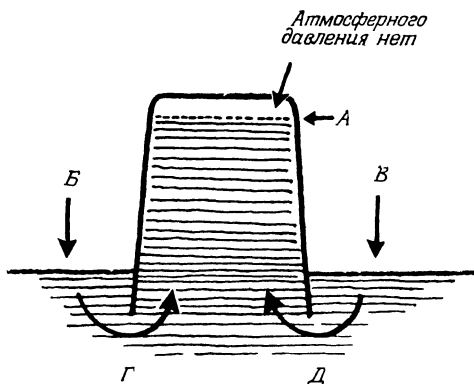
перевернем его вверх дном и начнем медленно вытаскивать из воды. Но что это? Вода поднимается вместе со стаканом, так что ее уровень становится намного выше, чем уровень воды в ванне!

Воду в стакане как будто бы ничто не поддерживает. Но там все-таки должно что-то быть, иначе бы вода опустилась. Что же это за сила?

Воздушный океан над нашими головами простирается вверх почти на 200 километров. И хотя воздух в этом оке-

ане кажется нам почти невесомым, на самом деле он все же имеет некоторый вес. А уж на самом дне воздушного океана, на 200-километровой глубине, вес воздуха становится вполне ощутимым. В результате давление воздуха на все предметы и тела, находящиеся на поверхности Земли, в свою очередь оказывается вполне ощутимым — около килограмма на каждый квадратный сантиметр. Наша ванна не составляет исключения — в ней воздух давит на поверхность воды точно так же, как на все остальное.

Когда мы поднимаем перевернутый вверх дном стакан, вода в нем начинает опускаться из-за того, что ее тянет вниз притяжение Земли. Но опускается она не очень низ-



Р и с. 26. Как атмосферное давление удерживает воду.

ко. Чтобы понять, почему это так, представим себе, будто вода в стакане и в самом деле немного опустилась, как показано на рис. 26 пунктирной линией А. Что будет находиться в стакане в той его части, которая расположена выше этой линии? Разумеется, там воздуха нет, а потому нет и давления. Иначе говоря, выше линии А в стакане нет атмосферного давления.

Теперь обратите внимание на стрелки, обозначенные буквами Б и В. Они изображают атмосферное давление, которое давит вниз на поверхность воды. Под тяжестью находящегося выше воздуха вода сжимается и тоже оказывается под давлением. Поэтому она стремится втиснуться в любое доступное ей пустое пространство. В результате

едва лишь вода в перевернутом стакане хоть немного начнет опускаться, как давление тут же — это показано стрелками *Г* и *Д* — вталкивает ее обратно.

На самом же деле вода в стакане никогда и не опускается настолько, чтобы это можно было заметить невооруженным глазом. Атмосферное давление вталкивает воду обратно в стакан и удерживает там, когда мы поднимаем стакан.

Но если атмосферное давление способно поддерживать воду в перевернутом стакане высотой в 15 сантиметров, не сможет ли оно поддерживать воду в сосуде высотой в 30 сантиметров? 60 сантиметров? 3 метра? 15 метров? Если вы захотите исследовать самые высокие сосуды, какие только найдутся в доме, то без труда обнаружите, что вода удерживается и в них.

Однако существует предел, до которого можно поднять воду таким способом. Ведь вода имеет вес и притом гораздо больший, чем воздух (если сравнивать одинаковые их объемы). Вода в 800 раз тяжелее воздуха. Под действием собственного веса она в свою очередь давит вниз, как и воздух. Оказывается, что на глубине 1033 сантиметра вода давит на каждый квадратный сантиметр с такой же силой, как и весь воздух в воздушном океане. Следовательно, давление столбика воды высотой в 1033 сантиметра точно уравнивает атмосферное давление, которое поднимает воду в закрытой трубке.

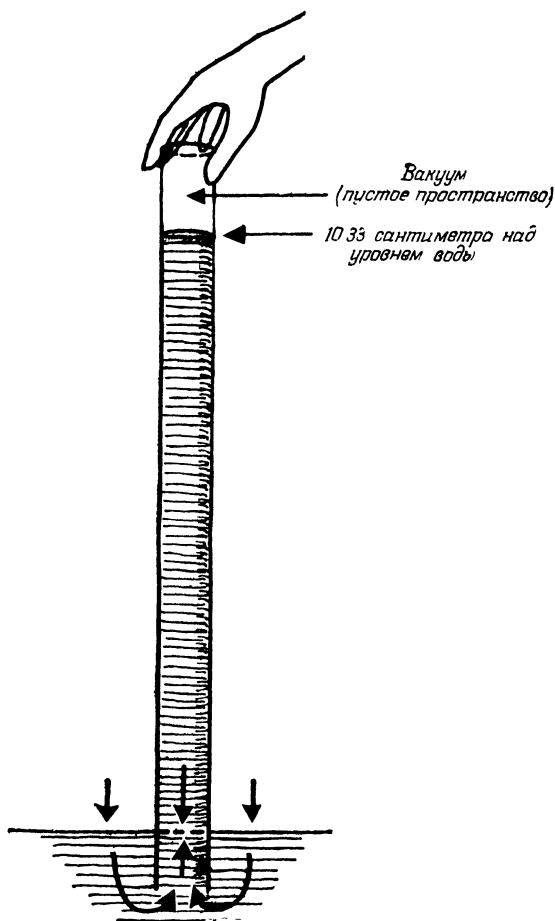
Представим себе очень длинную — высотой в 15 метров — перевернутую вверх дном трубку; допустим, что мы медленно вытаскиваем ее из воды. Когда закрытая часть трубки достигнет высоты 1033 сантиметра над уровнем воды, жидкость внутри трубки перестанет подниматься. Она так и останется на высоте 1033 сантиметра, хотя бы мы и продолжали поднимать трубку, но при этом в трубке выше уровня воды образуется пустое пространство, которое называют вакуумом.

Что произойдет с водой в трубке, если по каким-то причинам наружное атмосферное давление несколько уменьшится? Оно более не сможет удерживать 1033 сантиметра воды, и уровень воды в трубке понизится.

Предположим теперь, что атмосферное давление увеличилось. Тогда оно будет в состоянии удерживать больше, чем 1033 сантиметра воды, и уровень воды в трубке поднимется.

Мы с вами разобрали сейчас, по существу, прибор, с помощью которого можно измерять атмосферное давление, — барометр. В нашем барометре атмосферное давление уравнивается столбиком воды. Величина атмосферного давления измеряется высотой водяного столбика, который оно способно поддерживать.

Водяной барометр впервые был сооружен Отто Герике несколько сотен лет назад. Он взял широкую стеклянную



Р и с. 27. Водяной барометр.

трубку высотой более 10 метров, закрыл ее сверху, наполнил водой и выставил над крышей своего дома. Нижняя часть трубки уходила в бассейн с водой. Герике сконструировал свой барометр таким образом, что горожане могли видеть уровень воды в верхней части трубки и имели возможность наблюдать, как при перемене атмосферного давления вместе с водой то поднимался, то опускался поплавок в трубке. Если поплавок скрывался под крышей, горожане знали, что атмосферное давление падает и, по всей видимости, погода ухудшится. Если же поплавок в трубке появлялся над крышей, это указывало на вероятное улучшение погоды.

Почему изменение атмосферного давления предвещает возможную перемену погоды? Дело в том, что теплый сырой воздух, обычный предвестник плохой погоды, легче холодного сухого воздуха, который, как правило, приносит с собой хорошую погоду. Поэтому атмосферное давление падает с наступлением плохой погоды и повышается с приближением хорошей.

Барометр, конечно, очень полезный прибор. Но трубка высотой более 10 метров, к тому же почти целиком заполненная водой, явно очень неудобное устройство. Можно значительно уменьшить высоту трубки, если вместо воды заполнить ее ртутью — жидким металлом, который в 13,6 раза тяжелее воды. Ртутный барометр создает такое же давление на доннышке трубки, если она имеет высоту всего $1033/13,6$, или 76 сантиметров. Это уже гораздо удобнее. Поэтому обычно для наполнения барометрических трубок применяют не воду, а ртуть. Такой прибор ничем не отличается от водяного барометра на рис. 27, только он намного меньше и трубку не приходится поддерживать рукой. Она закрепляется в нужном положении другим несложным способом.

Насосы и дыхание

Кому не приходилось накачивать насосом велосипедные шины? Кто это делал, тот знает, что, толкая ручку насоса вниз, мы загоняем воздух в шину. Когда же ручка идет вверх, насос наполняется воздухом.

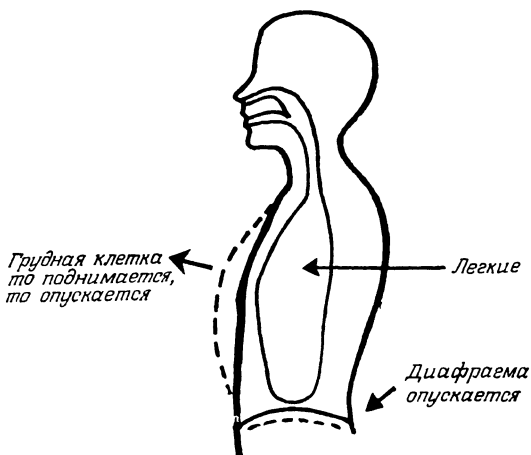
Но все ли из вас знают, что в нашем собственном теле имеется устройство, очень похожее на такой насос, устрой-

ство, которое работает непрерывно, днем и ночью, спим мы или бодрствуем? Мы говорим о легких и о дыхании, без которого нет жизни.

Сходство между насосом и легкими становится очевиднее, если заставить легкие работать, как насос. Возьмем в рот соломинку и потянем через нее лимонад из бутылки. Лимонад поднимется по соломинке и попадет в рот. Разве это не похоже на то, как вода в перевернутом стакане поднимается выше своего нормального уровня?

Что заставляет лимонад подниматься?

Наружное атмосферное давление толкает лимонад вверх точно так же, как и воду из ванны в стакан. Но для



Р и с. 28. Вдох.

того чтобы лимонад поднялся, давление воздуха внутри нашего тела должно быть чуть меньше, чем снаружи. Каким же образом его уменьшить?

В верхней части тела, в груди, находятся два мягких воздушных мешка. Это легкие. Наполнить их воздухом очень просто — нужно только увеличить свободный объем грудной клетки. Тогда воздух в легких расширяется, стремясь занять больший объем, и давление его падает. Одновременно наружный воздух, находящийся под большим давлением, проходит в легкие через нос (или рот). Если во рту находится соломинка, а конец ее погружен в жидкость, то наружное атмосферное давление погонит эту

жидкость внутрь тела, в ту область, где давление меньше. Так происходит «накачка» жидкости на большую высоту.

Как же увеличить объем грудной клетки? При вдохе перегородка в брюшной полости (называемая диафрагмой) опускается, увеличивая тем самым объем грудной клетки и позволяя легким расширяться. Давление воздуха в легких падает, и наружный воздух, находящийся под более высоким давлением, проходит внутрь. Этот процесс сопровождается расширением грудной клетки. Кости, охватывающие ее (они называются ребрами), раздвигаются.

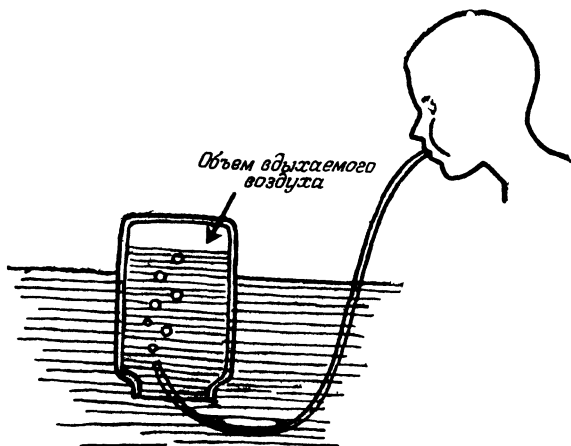


Рис. 29. Измерение объема вдыхаемого воздуха.

ются благодаря грудным мышцам, охват груди увеличивается, и наружный воздух входит внутрь, в легкие, где давление меньше.

Когда мы выдыхаем, мы повторяем процесс, только в обратном порядке. Диафрагма поднимается, а ребра сходятся, так что для легких становится меньше места. Воздух в легких сжимается, давление увеличивается, и часть воздуха выталкивается наружу через ноздри или рот.

Все это очень легко проверить на самом себе. Взгляните, как поднимается живот при вдохе! А раз он поднимается, значит, диафрагма опускается, чтобы освободить место внутри.

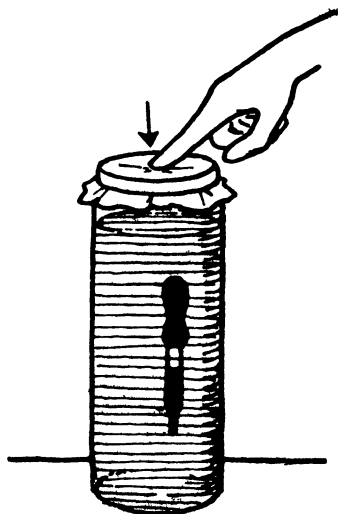
Выдох происходит благодаря уменьшению объема внутри тела. Обеспечивают это уменьшение диафрагма и

грудные мышцы. Воздух в легких сжимается, давление внутри увеличивается, и сжатый воздух выходит из тела.

Сделаем глубокий вдох. На этот раз одновременно с животом резко поднимается и грудная клетка.

Сколько воздуха может вдохнуть человек за один раз? Это легко узнать. Возьмем большую банку, наполним ее водой, погрузим в наполненную ванну, перевернем вверх дном и отпустим — пусть банка плавает. Придержим ее рукой, чтоб она не раскачивалась, и подведем вниз резиновую трубку, как показано на рис. 29. Другой конец трубки возьмем в рот и сделаем обычный выдох. Сколько воздуха вошло в банку? Это и есть объем одного обычного вдоха.

Снова наполним банку, опустим ее в ванну и перевернем. Возьмем в рот трубку и сделаем глубокий-глубокий выдох. Одного такого выдоха, пожалуй, будет достаточно, чтобы вытеснить всю воду из литровой банки. Попробуем сделать то же с двухлитровой, затем с трехлитровой банкой. Интересно, какое самое большое количество воздуха удастся вам выдохнуть за один раз?



Р и с. 30. «Картезианский ныряльщик».

Задачи

(ответы будут даны на стр. 96)

1. Существует устройство под названием «картезианский ныряльщик», которое часто показывают как фокус: «ныряльщика», плавающего в воде, можно заставить подниматься и опускаться по нашему желанию. Фокусник заставляет «ныряльщика» опускаться, нажимая на крышку (или гибкую резиновую перепонку), закрывающую банку сверху. Когда он ослабляет нажим, ныряльщик всплывает.

Объясните, почему так происходит.

2. Учитель вскипятил немного воды в чистой литровой жестяной банке. Потом погасил огонь, плотно закупорил банку и поставил ее на асбестовую подставку. Прошло немного времени, и бока банки начали прогибаться внутрь. Прогибание постепенно увеличилось, пока банка не сплюснулась совсем.

Чем это вызвано?

Самостоятельные исследования

1. Попробуйте сделать «картезианского ныряльщика» наподобие изображенного на рис. 30. В качестве самого «ныряльщика» можно использовать обыкновенную пипетку — налейте в нее немного воды и пустите свободно плавать.

Проследите за действиями «ныряльщика». Особенно интересно наблюдать за поведением воды в пипетке, когда вы нажимаете на резиновую крышку или отпускаете ее.

2. Возьмите длинную резиновую или пластмассовую трубку и наполните ее водой. Один конец трубки погрузите в воду в ванне, а другой опустите в пустое ведро на полу. Вода из ванны потечет в ведро без всякой затраты энергии.

Такое устройство называется сифоном.

Прежде чем вода польется через край, постарайтесь поднять ведро выше уровня воды в ванне. Тогда вода из ведра начнет переливаться обратно в ванну.

Изучите это интересное явление и разберитесь, каким образом оно происходит.

11. СИЛЫ И ДВИЖЕНИЕ

Возьмем пустую металлическую или пластмассовую чашку или миску с закругленным дном и положим ее на воду в ванне. Закрутим миску, как волчок, пусть она кружится. Как, по-вашему, долго она будет продолжать вращение?

Довольно долго, верно? На твердом столе она определенно не смогла бы столько кружиться.

А теперь поместим миску на одном конце ванны и слегка подтолкнем ее к другому концу. Не правда ли, уди-

вительно, как она плывет по воде, почти не меняя скорости? Если попробовать толкнуть ее на полу, такого не увидишь. На полу легкий толчок разве что заставит миску слегка закачаться.

Почему же по воде миска движется гораздо легче, чем по твердой поверхности?

Трение

Представим себе, что миска лежит на твердом столе. Собственный вес прижимает ее вплотную к столу. Поэтому крохотные неровности на доннышке миски и поверхности стола слегка цепляются друг за друга. Когда мы пытаемся толкнуть миску, эти сцепившиеся неровности держат друг друга. Чтобы все же заставить миску двигаться по столу, нужно толкнуть ее достаточно сильно — только так удастся преодолеть сцепление. Сила, которую приходится приложить, чтобы заставить тело свободно двигаться по поверхности другого тела, называется *трением*.

Теперь вам должно быть ясно, что один из способов уменьшить трение — сделать поверхности как можно более гладкими. А что может быть глаже, чем жидкость, которая с легкостью обтекает любое тело? Если погрузить твердое тело в жидкость, то здесь не будет никаких сцепившихся друг с другом неровностей. Получив толчок, жидкость просто расступится и будет обтекать поверхность миски (или другого предмета) с боков. Такое действие жидкости называется *смазывающим*, а сама жидкость, действующая таким образом, называется *смазкой*.

Малость трения, вызванная смазочным действием воды, — вот главная причина того, что в ванне случается так много неприятных происшествий. Чтобы понять суть дела, подумаем сначала, почему мы носим обувь? Чтобы двигать тело вперед, ноги должны отталкиваться от пола. Чтобы помочь ногам прижиматься к полу, подошвы ботинок делают из кожи или резины, обладающих большим трением.

В ванне трение значительно уменьшается из-за того, что кожа на подошвах ног гладкая, поверхность ванны тоже гладкая, а между ними есть еще смазка — вода. В результате тот полезный вид трения, который необходим людям для ходьбы, сильно уменьшается. Вот почему в ванне так

легко поскользнуться, даже если совершаешь самые обычные движения.

В некоторых ваннах специально делают грубую насечку на дне, чтобы увеличить трение. Видимо, со временем будут делать ванны из особого материала, который увеличивает трение и тем самым предохраняет людей от скольжения.

А вот другой интересный пример смазочного действия воды — катание на коньках. Когда острое лезвие конька давит на поверхность льда, часть льда под коньком тает. Лезвие оказывается смазанным окружающей жидкостью и скользит с очень малым трением, наподобие движущейся по воде миске в ванне.

Если присмотреться к следу от конька, только что проложенному конькобежцем, можно заметить, как вода снова замерзает, оставляя бросающуюся в глаза полосу.

В технике самой распространенной смазкой является машинное масло. Этой жидкостью отделяют друг от друга металлические части, которые в противном случае пришли бы в соприкосновение и терлись бы друг о друга весьма сильно. При соприкосновении между собой металла и масла трение гораздо меньше, чем при соприкосновении металлов, и поэтому части легко скользят друг по другу.

Некоторые водители машин не отдают себе отчета, насколько важно, чтобы основные части машины всегда были смазаны. Порой у таких нерадивых водителей масло вытекает из двигателя или масляный насос засорится и не подает смазку в те места, где необходимо уменьшить трение. Обычно в таких случаях на приборном щитке загорается красная лампочка, которая указывает, что давление масла недостаточное и масло не поступает в жизненно важные участки двигателя. Если после этого машина продолжает двигаться хотя бы несколько минут, двигатель может полностью выйти из строя по причине нагрева, вызванного трением частей друг о друга.

Инерция

Вращение или любое иное движение миски в воде демонстрирует еще один важный физический закон — закон инерции. Каждое тело, приведенное в движение, сохраняет

это движение. Поэтому миска, получив вращение, продолжает вращаться с почти неизменяющейся скоростью. Если же ее не вращать по воде, а толкнуть, она будет двигаться по прямой линии — тоже с почти неизменной скоростью.

Конечно, между миской и водой имеется некоторое трение, хоть и очень небольшое. Со временем вращение миски постепенно замедляется, пока не прекратится совсем. Примерно так же замедляется из-за трения и прямолинейное движение миски, которую толкнули по воде.

Допустим, что вначале движение очень быстрое. В этом случае и трение значительное. Если, например, лодка движется по воде с большой скоростью, ей по мере движения приходится очень быстро выталкивать воду, а это требует больших усилий, чем медленное движение. При быстром движении образуются бурные волны — доказательство большого трения лодки о воду. Если остановить мотор, лодка сначала замедляет ход очень быстро, так как ее тормозит большая сила трения, а потом, когда волны уже не возникают, трение сильно уменьшается, и лодка долго плавно скользит по гладкой воде.

Тот факт, что лодка в воде не испытывает слишком большого трения, имел весьма любопытные последствия для развития нашей цивилизации. Небольшое трение в воде означает, что для движения нагруженной лодки с неизменной скоростью нет необходимости прилагать большую силу. Кроме того, гладкая поверхность рек, озер и морей — это своего рода готовые дороги, по которым лодки могут легко скользить во всех направлениях. Поэтому затраты на перевозку по воде, особенно на дальние расстояния, меньше, чем при любом способе перевозки по суше. Люди сумели понять это уже очень давно, и многие древние города и государства стремились располагаться вдоль водных путей, обосноваться на берегах рек, морей и океанов.

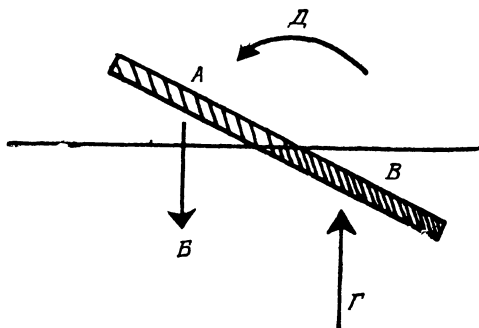
В Северной Америке, например, первые поселения располагались на островах и в прибрежных районах. Только много веков спустя, с развитием железных дорог, стали расти большие города и внутри страны.

Могли ли мы вообразить, когда толкали миску по воде, что демонстрируем научный закон, который повлиял на ход человеческой истории?

Устойчивость плавающих тел

Возьмем деревянный брусок сантиметров 30 в длину и погрузим его в воду вертикально. Попробуем заставить его плавать в таком положении. Что с ним ни делай, брусок вертикально не держится — он немедленно переворачивается и ложится на воду плашмя. В вертикальном положении он неустойчив, а в горизонтальном устойчив.

Проделаем то же с пустым закупоренным флаконом. Флакон тоже неустойчив и не остается в вертикальном



Р и с. 31. Неустойчивое положение.

положении. Он переворачивается и начинает плавать в горизонтальном положении.

Наполним флакон небольшими шайбочками или мелкими монетами, но не сразу, а по одной, и притом всякий раз его закупоривая. После очередной добавки груза флакон будет опускаться все ниже.

Когда во флаконе наберется достаточно шайб, ничего не стоит заставить его плавать вертикально. Потом он уже сам по себе будет так плавать. Даже если его наклонить, чтобы он лег горизонтально, он все равно возвратится в вертикальное положение. Флакон приобрел устойчивость в вертикальном положении и стал неустойчивым в горизонтальном.

Будем добавлять грузы к одному концу деревянного бруска, но осторожно, стремясь не потопить брусок. Можно привязать к одному концу бруска какую-нибудь тяжесть — например, свинцовые грузила или длинные гвозди. Когда груза будет много, брусок начнет вести себя, как напол-

ненный флакон — он станет плавать вертикально. Почему?

Прежде всего вспомним, что дерево — это вещество, которое обладает способностью плавать в воде. Иначе говоря, если его погрузить в воду, то выталкивающая сила сможет поднять его на поверхность. Выталкивающая сила, как мы уже говорили раньше, это сила, направленная вверх. В случае дерева эта направленная вверх выталкивающая сила превышает вес дерева, и брусок всплывает.

Теперь представим себе брусок без дополнительных грузов, который мы держим в воде наклонно — не вертикально и не горизонтально (рис. 31). Что произойдет, если мы отпустим руку?

Чтобы ответить на этот вопрос, посмотрим, что произойдет с силами, которые действуют на разные стороны бруска. Одна его часть (*A*) выступает из воды. На нее вода не оказывает никакого выталкивающего действия. Единственная сила, которая действует на эту часть бруска, — это вес (стрелка *B*), который заставляет часть *A* опускаться, не встречая никакого сопротивления.

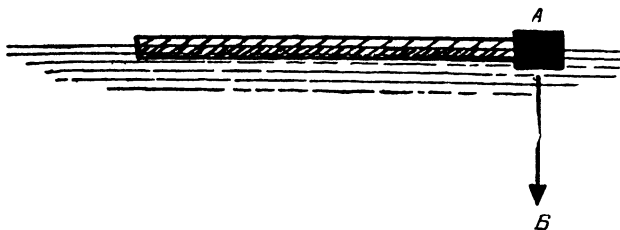
Другая часть бруска (*B*) находится под водой. Поэтому на нее действует направленная вверх выталкивающая сила, которая превышает направленный вниз вес этой части бруска. Этот остаток направленной вверх силы показан стрелкой *Г*.

Теперь посмотрим, как действуют силы *B* и *Г* на весь брусок. Сила *B*, действующая на левую часть бруска, старается опустить ее вниз. Сила *Г*, действующая на правую часть, старается ее поднять. Вместе обе эти силы стараются повернуть брусок, как показано стрелкой *Д*, в горизонтальное положение. Только в этом положении он будет устойчив.

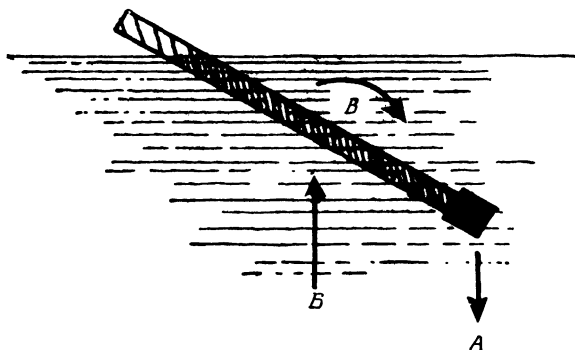
Разберем теперь, что произойдет, если к концу бруска прикрепить предмет (*A*), сделанный из тяжелого материала, но не настолько тяжелый, чтобы потопить брусок. Добавочный вес заставляет этот конец бруска опускаться в воду, как показано на рис. 32 стрелкой *Б*, и деревянный брусок погрузится значительно глубже, чем обычно. В результате над водой останется небольшая часть бруска. Но главное действие воды на дерево состоит в выталкивании; поэтому дерево будет выталкиваться из воды, как показано на рис. 33 стрелкой *Б*. Эти две силы стараются повернуть брусок, как показано стрелкой *В*, и он устанавливается в вертикальном положении. Добавочный груз на

одном из концов делает брусок устойчивым только в вертикальном положении.

Допустим, мы захотели удержать в вертикальном положении брусок с грузом наверху, как показано на рис. 34. Установить такой брусок в вертикальном положении исключительно трудно — малейшее дуновение способно



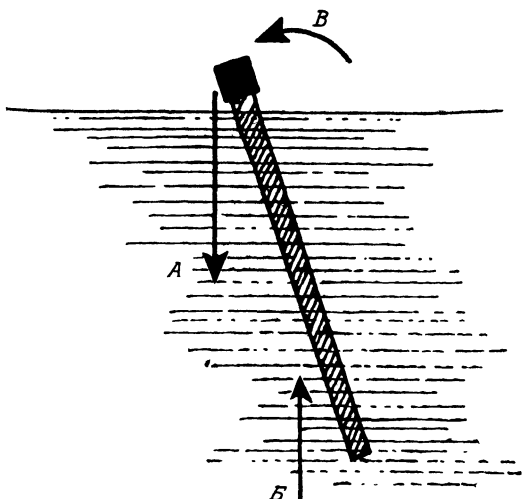
Р и с. 32. Брусок на поверхности воды.



Р и с. 33. Движение бруска, погруженного в воду.

отклонить его от вертикали. При этом тяжелый груз сверху заставляет этот конец бруска двигаться дальше налево и вниз, как показывает стрелка *A*. В то же время выталкивающая сила (*B*) воды, действующая на нижнюю часть бруска, заставляет этот конец подниматься вверх и направо. Совокупность этих сил поворачивает брусок в направлении, показанном стрелкой *B*. Когда брусок примет горизонтальное положение, груз по-прежнему будет увлекать свой конец вниз. Брусок будет поворачиваться до тех пор, пока нагруженный конец не окажется внизу, а сам брусок — в вертикальном положении.

Конструкторы кораблей обязаны учитывать эти поворачивающие силы. Бывало, что утяжеленные сверху корабли переворачивались во время шторма. Как-то один капитан разрешил погрузить бревна прямо на палубу; из-за этого корабль оказался перегруженным сверху и почти потерял устойчивость. Во время шторма бревна покати-



Р и с. 34. Неустойчивое положение.

лись по палубе и сильно накренили корабль. В результате он зачерпнул воды и затонул.

То, о чем мы говорили, касается не только предметов. Чем, по-вашему, объясняется способность людей и животных удерживаться в вертикальном или горизонтальном положении? Центр тяжести человеческого тела расположен высоко — выше, чем средства опоры, то есть ноги. Если человек наклонится слишком сильно, его вес заставит тело опрокинуться, точь-в-точь как груз на бруске, плавающем в ванне, опрокидывает брусок. Природа снабдила человека большими ступнями, которые в какой-то мере предохраняют его от опрокидывания. Но в детстве все люди затрачивают немало времени и усилий, прежде чем научатся трудному искусству удерживать тело на ногах и оставаться в выпрямленном положении. Четвероногим животным куда легче. Их горизонтальное положение намного устойчивее, чем вертикальное положение человека.

Значит ли это, что не очень устойчивое положение человека на двух ногах — большое неудобство? С одной стороны, да. Но, с другой стороны, именно такое положение в свое время позволило человеку высвободившимися передними конечностями хватать различные предметы и, в конечном счете, привело к изготовлению орудий и появлению цивилизации. По мнению некоторых ученых, способность к «прямохождению» сыграла важную роль в выживании человеческого рода. Благодаря этой способности человек мог выпрямиться и, взглянув поверх травы, высмотреть животное, за которым охотился, или враждебных хищников.

Вот так силы, действующие в самой обыкновенной ванне, оказывали влияние на развитие человека и других живых существ.

Задачи

(ответы будут даны на стр. 96)

1. В каком месте лодки лучше всего класть тяжелые предметы? Объясните, почему?

2. Катамаран — это широкая лодка, которая плывет на двух больших поплавках, по одному с каждой стороны. В чем преимущества лодки такого типа?

Самостоятельные исследования

1. Толкните пустой, свободно плавающий шар под воду. Выпрыгивает он обратно? Сделайте то же с куском дерева. Как он всплывает — быстро или медленно?

Почему одни плавающие предметы, если их толкнуть под воду, поднимаются намного быстрее, чем другие?

2. Крутаните металлический или пластмассовый стакан или миску с водой и приглядитесь к поверхности воды.

Можно закрутить стакан или миску так: аккуратно поставить их в центре диска проигрывателя, а потом включить проигрыватель. Разумеется, для этой цели следует воспользоваться старым проигрывателем и накрыть его пластиком на случай, если вода прольется. Воды тоже нужно взять как можно меньше во избежание расплескивания и других неприятностей. Когда все меры предосторожности будут приняты, начните с самых медленных оборотов диска и, прежде чем перейти к более высоким скоростям, обязательно наблюдайте за тем, что происходит.

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

К стр. 16

1. Расстояние между гребнями 10 метров. Значит, волны находятся друг от друга на расстоянии 10 метров. Проходят они мимо нас каждые 4 секунды. Следовательно, волна должна пройти 10 метров за 4 секунды, чтобы занять место предыдущей волны. Итак, скорость волны равна 10 метрам, поделенным на 4 секунды, или 2,5 метра в секунду.

Устье залива находится в 500 метрах от нас. Перемещаясь со скоростью 2,5 метра в секунду, волна достигнет устья через $500/2,5$, или 200 секунд, то есть через 3 минуты 20 секунд.

2. Предположим, что первая волна вышла из передающей антенны. Когда она пройдет расстояние в 300 метров, из антенны выйдет вторая волна. Обе волны продвинулись на 300 метров каждая, и только тогда появится третья волна. Спустя секунду из антенны выйдет уже миллион таких волн, и все они будут находиться на расстоянии 300 метров друг от друга. Поэтому расстояние между самой первой волной и той, которая через секунду выйдет из антенны, равняется $300 \times 1\,000\,000 = 300\,000\,000$ метров, или 300 000 километров. Поскольку все это происходит в течение секунды, то скорость первой волны равняется 300 000 километров в секунду.

Сравните эту величину с измеренной на опыте скоростью световых и радиоволн — 299 760 километров в секунду. Хорошее приближение?

К стр. 28

1. Одежда и тело человека мягкие, поэтому они поглощают звуковые волны сильнее, чем отражают их. Из-за того, что люди сидят вертикально, образуется очень «неровная» поверхность, которая больше рассеивает звуки во всех направлениях, чем правильно их отражает. Стулья же и пол обычно сделаны из твердых материалов и поэтому правильнее отражают звуковые волны. Вот почему, когда зал заполнен людьми, отражение звуковых волн уменьшается, а «неправильность» отражений увеличивается. Этим и вызвано отличие в звучании музыки.

2. Звук движется со скоростью 330 метров в секунду.

За 25 секунд он пройдет 25×330 , или 8250 метров, то есть выше 8 километров. Люди обычно даже не улавливают связи между громом, который они слышали, и молнией, которую увидели за 25 секунд до этого.

Иногда происходят такие сильные извержения вулканов, что звуки слышны на расстоянии сотен километров не раньше, чем через 15—30 минут после извержения.

3. Скорость звука составляет 330 метров в секунду. За 1,3 секунды звуковая волна проходит $1,3 \times 330$, или 429 метров. Но ведь звук должен дойти до склона и вернуться назад. Следовательно, расстояние до холма равняется $\frac{1}{2}$ от 429 метров, то есть 214,5 метра.

К стр. 39

1. Оконное стекло выполняет одновременно две функции: проводит внутрь (пропускает) большую часть света и отражает остальную. Сначала рассмотрим случай, когда мы находимся в комнате. Ночью в комнате светлее, чем на улице, поэтому отражение заметнее, чем то небольшое количество света, которое приходит снаружи. Зато днем снаружи света намного больше, чем внутри. Поэтому в дом приходит больше света, чем отражается от стекла. В результате отражение почти совсем незаметно, зато наружные предметы видны отчетливо.

2. Нет такого способа, который позволил бы по одному внешнему виду отличить идеальное зеркальное изображение от самого предмета. Если войти в комнату, где во всю стену висит чистое зеркало, без рамы, которая отделяла бы его от стены и придавала привычный для зеркала вид, то по внешнему виду невозможно отличить зеркальные изображения от истинных предметов. Изображения в зеркале будут казаться подлинными объектами, и поэтому появится иллюзия, будто комната вдвое больше, чем на самом деле.

3. Предметы четко видны через маску из-за того, что перед глазами имеется слой воздуха. Свет, переходя из воздуха в прозрачное вещество глаза, преломляется. В результате хрусталик глаза может сфокусировать изображение на сетчатке — светочувствительном слое в глазном дне.

Но если маску снять, глаза будут непосредственно соприкасаться с водой. При переходе из воды в хрусталик глаза преломление света будет меньше, чем при переходе из воздуха в глаз. Поэтому хрусталику не удастся сфоку-

сировать лучи на сетчатке, и изображение получается размытым.

К стр. 49

1. В Северной Канаде, вблизи магнитного полюса, конец магнитной стрелки, указывающий на север, повернется строго вниз (если, конечно, стрелка будет свободно вращаться как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях). По мере того как вращающуюся стрелку переносят все южнее, ее наклон постепенно меняется. На севере США она наклонена под углом 70° ; на юге — почти под углом 50° . Вблизи экватора наклон очень мал или вообще отсутствует. Следовательно, и ванна в городе на экваторе намагничена горизонтально. Северный полюс будет находиться на той стороне, которая обращена на север, а южный полюс — на стороне, обращенной к югу.

2. В Аргентине, на широте 55° , конец магнитной стрелки, указывающий на юг, будет обращен к югу и вниз, в сторону некой точки, находящейся под льдом Антарктиды. Поэтому в нижней части ванны образуется южный, а в верхней — северный магнитный полюс.

К стр. 54

1. Объем бассейна равен $20 \times 8 \times 1$, или 160 кубическим метрам. Известно, что один кубический метр вмещает 1000 кубических дециметров, или 1000 литров. Поэтому 160 кубических метров вмещают 160 000 литров.

Вода льется со скоростью 4 литра в секунду. Следовательно, чтобы наполнить бассейн, понадобится $160\,000/4$, или 40 000 секунд. В одном часе 60×60 , или 3600 секунд. Значит, бассейн наполнится через $40\,000/3600$, или около 11 часов.

2. Спустя 5 минут при скорости течения 16 литров в минуту в ванне будет 5×16 , то есть 80 литров воды. Остается налить 220 литров, поскольку ванна вмещает всего 300 литров воды. При скорости 8 литров в минуту потребуется $220/8$, или 25 минут, чтобы добавить еще 220 литров. Поэтому общее время составит теперь $25 + 5$, или 30 минут.

Если бы скорость не уменьшалась, то вода, поступая в ванну в количестве 16 литров в минуту, наполнила бы ее за $300/16$, то есть почти за 19 минут.

Добавочное время составляет $30 - 19$, или 11 минут.

1. Если спасательный круг целиком находится в воде, то действующая на него и направленная вверх выталкивающая сила намного превысит его вес, так как удельный вес материала, из которого сделан круг, меньше удельного веса воды. В результате круг сам действует направленной вверх силой на все объекты, прикрепленные к нему (или те, что за него держатся). Именно этим объясняется тот факт, что человека, который держится за круг, выталкивает из воды. Человек перестает всплывать лишь тогда, когда его вес и вес круга равны весу воды, вытесненной погруженной в воду частью круга и человеческого тела.

2. Любой предмет всегда будет тонуть в жидкости, имеющей меньший удельный вес, чем удельный вес самого предмета, но будет плавать в жидкости с большим, чем у него, удельным весом.

Керосин (удельный вес 0,82) — вещество менее плотное, чем вода (удельный вес 1,00), поэтому он будет плавать на воде. Удельный вес воска 0,90 — меньше, чем у воды, но больше, чем у керосина. Так как воск легче воды и тяжелее керосина, он будет плавать на поверхности воды под слоем керосина.

Разумеется, такой способ исследования не пригоден, если испытуемое вещество растворяется в керосине или в воде. Взять хотя бы наш опыт с водой, керосином и воском — растворяется ли воск? Что произойдет, если вместо воска взять большой кусок сахара?

3. Архимед решил задачу, поставив слона на большой плоский плот и отметив уровень, до которого плот погрузился в воду. Потом слона сняли с плота и стали нагружать вместо него слитки золота — до тех пор, пока плот не погрузился до прежнего уровня. В этом положении вес плота с золотом сравнялся с весом плота со слоном и, значит, золото весило столько же, сколько слон.

1. Рассмотрим два одинаково нагретых предмета кубической формы. Тепло может уходить со всех шести сторон каждого предмета. А теперь предположим, что мы составили оба кубика вместе и они образовали один предмет, естественно, большего размера. Тем самым две стороны, в которых ранее тепло могло уходить в воздух, соединены,

и с них тепло не уходит. Скорость потери тепла уменьшилась, и составленные вместе тела остывают медленнее.

Большая масса в общем-то имеет меньшую внешнюю поверхность (по отношению к величине массы или веса), чем небольшая. А так как тепло уходит именно через внешнюю поверхность, то в случае большой массы шансы на его потерю меньше. (Больше тепла скрыто внутри тела и меньше соприкасается с воздухом.) Поэтому горячая ванна остывает не так быстро, как стакан горячей воды.

2. Нагревание жидкости ускоряет ее испарение, ибо возрастает скорость молекул и они легче выскакивают из жидкости. Если подуть на поверхность жидкости, испарение станет сильнее, так как при этом от поверхности отгоняются уже вылетевшие из жидкости молекулы, которые в противном случае могли вернуться в жидкость. Если налить жидкость в сосуд, где с воздухом соприкасается большая поверхность, испарение тоже ускоряется, так как при этом возможность вылета молекул из жидкости становится больше.

3. В сырую погоду испарение воды невелико, так как во влажном воздухе и без того уже много молекул воды. В то время как одни молекулы воды вылетают в воздух, другие, уже находившиеся в воздухе, возвращаются в воду. Эти возвращающиеся молекулы и уменьшают скорость испарения. Вот почему в сыром воздухе охлаждающее действие от испарения пота меньше. Телу становится как будто теплее, потому что оно теряет (за счет испарения) меньше тепла.

К стр. 72

1. Поверхностное натяжение в пузыре будет стягивать его к отверстию соломинки, а воздух будет выталкиваться из другого ее конца. Пузырь сожмется и исчезнет.

2. Скрепка вытеснит небольшое количество воды, которая поднимется выше края пробирки. Однако благодаря поверхностному натяжению вода не перельется через край, лишь ее поверхность слегка взгорбится.

Можно уложить таким способом много скрепок и тем самым изрядно взгорбить поверхность, пока вода не начнет выливаться.

Попробуйте провести этот опыт сами. Если под рукой нет пробирки, можно использовать бутылку или кувшин

с узким горлышком. А если надоест выкладывать скрепки, бросьте в воду монетки, чтобы ускорить дело.

К стр. 81—82

1. Нажимая на упругую пленку, закрывающую отверстие бутылки с «картезианским ныряльщиком», мы увеличиваем давление воздуха внутри. Возросшее давление загоняет в отверстие пипетки воду, выталкивающая сила уменьшается, и пипетка погружается.

Когда же давление, наоборот, уменьшается, сжатый воздух внутри пипетки выталкивает лишнюю воду наружу, занимает ее место, выталкивающая сила увеличивается и пипетка всплывает.

2. Пар, выходя из кипящей воды, вытесняет воздух из банки. Соответственно воздушное давление внутри банки почти целиком заменяется давлением сжатого пара.

Когда мы закупили банку и сняли ее с огня, пар оказался «взаперти». Он постепенно охладился и снова превратился в воду (конденсировался). Эта вода занимает уже намного меньше места. И тогда в банке не остается ни воздуха, ни пара. Значит, нет и того давления, что могло бы противостоять атмосферному давлению, которое равно 1 килограмму на каждый квадратный сантиметр.

Поверхность обычной литровой жестяной банки примерно 1000 квадратных сантиметров. Давление в 1 килограмм на каждый квадратный сантиметр здесь дает в итоге полную силу, равную 1000 килограммов, то есть 1 тонне,— этого вполне достаточно, чтобы раздавить банку.

Банка сжимается постепенно, ибо пар конденсируется тоже не сразу, а за какое-то определенное время.

К стр. 90

1. Груз следует укладывать на дно лодки. Подобно палке с привязанным грузом, лодка устойчива только тогда, когда груз расположен внизу. Разумеется, все лодки и корабли именно так и строятся: тяжелые машины помещаются как можно ниже, а надстройки делаются из легкого материала и никогда не нагружаются слишком тяжелыми предметами.

2. Широкое основание делает катамаран очень устойчивым и почти неспособным перевернуться. Как только одна его сторона по какой-либо причине погрузится в воду, выталкивающая сила тотчас вытолкнет ее обратно.

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ВВЕДЕНИЕ	7
2. ВОЛНЫ	10
3. ЗВУКИ	17
4. ЛУЧИ СВЕТА	29
5. МАГНЕТИЗМ	40
6. ЧАСЫ И ВАННЫ, ЯЩИКИ И ЛЮДИ . .	50
7. ЗАГАДКА ЗОЛОТОЙ КОРОНЫ	55
8. ЖАРА И ХОЛОД	60
9. ПУЗЫРЬКИ	67
10. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ	73
11. СИЛЫ И ДВИЖЕНИЕ	82
ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ	91

Х. Рачлис

ФИЗИКА В ВАННЕ

Редактор *И. Я. Хидекель*
Художник *В. Б. Янкилевский*
Художественный редактор *Ю. Л. Максимов*
Технический редактор *З. И. Резник*
Корректор *Л. А. Брычкова*

Сдано в набор 25/XI 1971 г. Подписано к печати 22/III 1972 г. Бумага кн. журн. $84 \times 108 \frac{1}{32}$ — = 1,50 бум. л. Усл. печ. л. 5,04. Уч.-изд. л. 4,60. Изд. № 12/6131. Цена 23 коп. Зак. 836.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер., 2

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Ярославль, ул. Свободы, 97



23 коп.