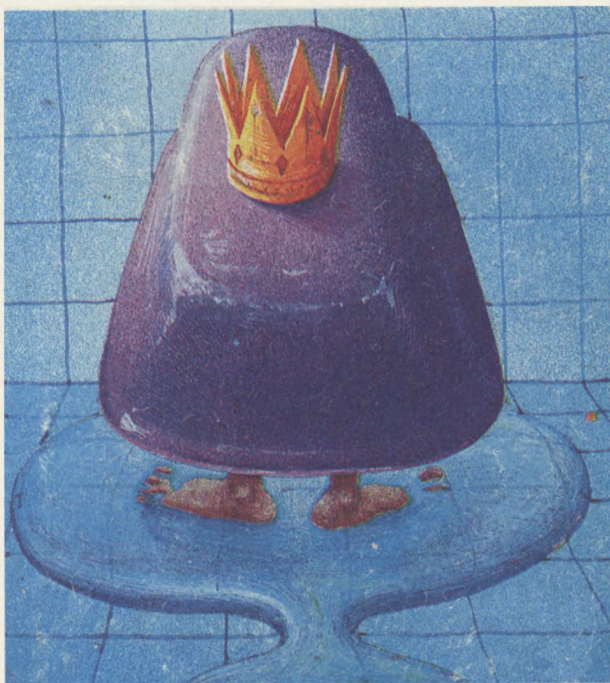




БИБЛИОТЕЧКА • КВАНТ •
выпуск 51

Х. РАЧЛИС

ФИЗИКА В ВАННЕ





БИБЛИОТЕЧКА • КВАНТ •

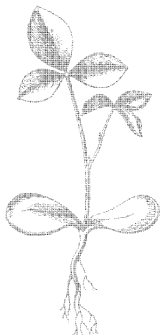
выпуск 51

Х. РАЧЛИС

ФИЗИКА В ВАННЕ

Перевод с английского
кандидата физико-математических наук
С. В. ЛЕМПИЦКОГО

Предисловие
академика АПН СССР
В. Г. РАЗУМОВСКОГО



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1986

ББК 22.3
P27
УДК 53(023)

Hy Ruchlis

BATHTUB PHYSICS

New York, Harcourt, Brace & World, 1967

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Академик Ю. А. Осипьян (председатель), академик А. Н. Колмогоров (заместитель председателя), профессор Л. Г. Асламазов (ученый секретарь), член-корреспондент АН СССР А. А. Абрикосов, академик Б. К. Вайнштейн, заслуженный учитель РСФСР Б. В. Воздвиженский, профессор С. П. Капица, академик С. П. Новиков, академик АПН СССР В. Г. Разумовский, академик Р. З. Сагдеев, профессор Я. А. Смородинский, академик С. Л. Соболев, член-корреспондент АН СССР Д. К. Фаддеев.

Ответственный редактор выпуска Л. Г. Асламазов

Рачлис Х.

P27 Физика в ванне: Пер. с англ.— М.: Наука.
Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 96 с.— (Библиотека «Квант». Вып. 51.)

25 коп. 220 000 экз.

Эта небольшая, увлекательно написанная книга поможет вам не просто смотреть вокруг, а наблюдать, анализировать и обобщать свои наблюдения. Оказывается, для этого не надо отправляться в дальнее путешествие — надо только открыть дверь в ванную комнату. Волны на поверхности воды и звук, свет и магнетизм, удивительные свойства жидкости и тепла, трение и инерция — все эти явления природы, которые изучает физика, каждую секунду происходят в нашей ванне. Вместе с автором с помощью простейших средств, которые всегда под рукой, вы проведете увлекательные эксперименты, пользуясь ванной как лабораторией.

Для школьников и учителей.

P 1704000000—068
053(02)—86 160—86

ББК 22.3

© Издательство «Наука».
Главная редакция
физико-математической
литературы, перевод на
русский язык, 1986

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
1. ВВЕДЕНИЕ	7
Наука «Физика» (8). Как начинаются исследования (9)	
Прочитать или сделать? (9)	
2. ВОЛНЫ	11
3. ЗВУКИ	17
Пение в ванной комнате (20)	
4. СВЕТОВЫЕ ЛУЧИ	28
«Изгиб» прямой палки (33)	
5. МАГНЕТИЗМ	39
Северный полюс и наша ванна (41).	
6. ЧАСЫ И ВАННА, ЯЩИКИ И ЛЮДИ	48
7. ТАЙНА ЗОЛОТОЙ КОРОНЫ	53
История с украденным золотом (56). Загадка водяной капли (57).	
8. ЧТО ТАКОЕ ЖАРКО И ЧТО ТАКОЕ ХОЛОДНО?	59
О природе теплоты (63).	
9. ПУЗЫРИ	66
10. ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА	72
Насосы и дыхание (77).	
11. СИЛЫ И ДВИЖЕНИЕ	81
Трение (81). Инерция (83). Устойчивость плавающих тел (84)	
Ответы к задачам	90

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.

Систематические 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 явлений, которые можно было бы оценивать количественно и сравнивать друг с другом. Если удастся обнаружить количественную зависимость между величинами, то эта зависимость может быть выражена очень экономно математической формулой.

Однако физика занимается не только отыскиванием внешней закономерности явлений. Она стремится постичь причину этих закономерностей, проникнуть в механизм явлений. С этой целью физики выдвигают гипотезы, строят абстрактные модели, используют 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 выте-

кающих 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 еще и тем, что читателю не требуется знать почти ничего для того, чтобы понять в ней почти 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, волновые процессы разной природы. 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 физические явления, 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. Г. Разумовский

Для чего нам нужны глаза? Чтобы видеть, конечно.

А уши? — Чтобы слышать.

А пальцы? — Трогать, осязать и держать в руке предметы.

А еще мы обладаем органами обоняния и вкуса.

Это наши главные органы чувств, они рассказывают нам, что происходит в мире.

Но самое главное — мы обладаем мозгом, изучающим и запоминающим все, о чем рассказывают органы чувств. Мы способны понять, что означают наши ощущения, и решить, какому из них уделять внимание, а какое — не замечать.

Давайте замрем на минуту и прислушаемся. Совершенно неожиданно вы услышите звуки, которых не замечали до сих пор. Щебечет за окном птица и шелестит под ветром листва, капает вода из крана, гудит мотор холодильника. Были ли эти звуки до того, как вы прислушались? Конечно. Только вы не обращали на них внимания.

Есть особый способ смотреть, слушать, ощущать, называемый наблюдением. Когда мы наблюдаем, мозг указывает глазам, куда смотреть, а ушам — какие именно звуки слушать. Мы уже не просто смотрим, а всматриваемся, не просто слушаем, а прислушиваемся.

Только благодаря умению наблюдать охотник в лесу находит добычу, а следовательно — ключ к разгадке преступления. Чтобы совершить открытие, ученому надо уметь внимательно наблюдать природу. И если вы хотите быть похожими на ученых, вам — точно так же, как в детстве ходить и говорить, — надо учиться умению наблюдать.

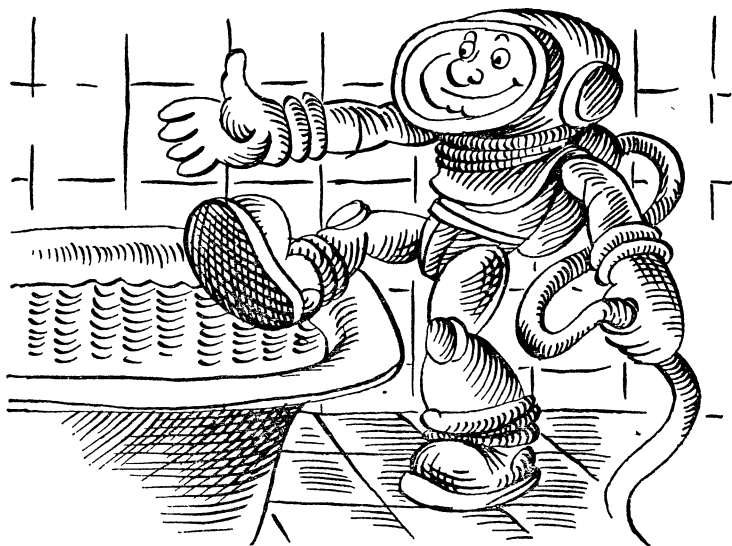
Для начала в качестве лаборатории нам подойдет обычная ванна. Никаких особых приборов и инструментов не потребуется. Сложных больших исследований и

экспериментов проводить тоже не будем — только самые простые. По-настоящему новых открытий мы, пожалуй, не совершим, но они могут оказаться новыми для вас.

Наука «Физика»

Эта книга называется «Физика в ванне». Вы, наверное, удивитесь выбранному нами странному сочетанию — физика и ванна. Ну, во-первых, ванна хорошо всем известна или, по крайней мере, должна быть известна. Во-вторых, там происходит множество интересных вещей. Вода наполняет ванну, человек садится, и уровень воды поднимается. Предметы в ней плавают или тонут, образуются мыльные пузыри, свет отражается от стенок ванны и поверхности воды, люди в ванной падают и ушибаются. Эти и многие другие события являются объектами изучения физики.

Наука всегда стремится вскрыть причины тех или иных явлений. И в этой книге мы будем искать причины разнообразных явлений в ванной комнате. Многие из них вы, наверное, замечали и сами. Но очень может быть, что после чтения этой книги вы увидите то, чего не видели прежде, и удивитесь явлениям и событиям, на которые раньше внимания не обращали.



Как начинаются исследования

Вас окружает множество предметов, которые не привлекают внимания, пока с ними не случится чего-нибудь странного. Если пепельница, спокойно лежащая на столе, сама по себе вдруг поднимется в воздух, то это, конечно, серьезный повод для начала исследования. Как могло это случиться? Чем именно это вызвано? Можем ли мы поднимать и опускать таким способом предметы по своему желанию?

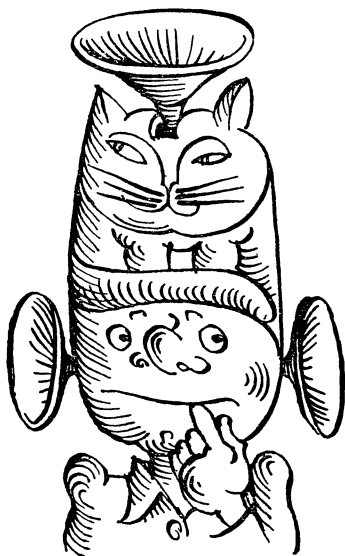
Однако события вовсе не должны быть столь необычными для того, чтобы заставить нас задуматься. Например, однажды пепельница звякнет на столе. А на улице мы услышим шум грузовика. Здесь могут начаться интересные исследования, в которых колебания, вызываемые грузовиком, связываются с колебаниями пепельницы.

То же самое может произойти и в ванне. Мы наполняем ее водой, ступаем в нее, садимся. Вода поднимается, плещется вокруг нас. По поверхности воды пробегают волны, вода становится грязной. Открываем слив, и вот ванна пуста. Вытекая, вода может образовать водоворот. Все эти очень легко наблюдаемые события вызывают вопросы, а каждый вопрос может стать началом целого исследования.

Прочитать или сделать?

А сейчас краткое отступление о том, как читать эту книгу. Один способ — расположиться в удобном кресле и читать, не прерываясь, проводя все исследования в своем воображении. Это тоже хороший способ, но, может быть, вам больше понравится другой. В книге будут описываться определенные явления, происходящие в ванне, и задаваться вопросы, которые должны заставить вас задуматься. И хорошо бы, дойдя до них, остановиться и попытаться поразмыслить. Будет интересно узнать, насколько ваши рассуждения совпадают с изложенными в книге или отличаются от них.

Совсем не обязательно прерывать чтение, раздеваться и лезть в воду всякий раз, когда вы хотите проверить правильность описанных явлений в ванне. Но при очередном купании вы сможете убедиться в справедливости сказанного в книге на собственном опыте. Во многих же случаях вы также сможете с успехом использовать «маленькие



ванночки» — кухонные раковины, котелки, миски, стаканы и блюда.

Увидеть самому явление очень важно по нескольким причинам. Во-первых, так поступают при научном подходе к работе. Когда один ученый сообщает о своих наблюдениях, другие пытаются повторить им проделанное и провести эти наблюдения самостоятельно. Если удача сопутствовала лишь одному автору, значит, что-то тут не так. Только тогда, когда явление наблюдалось несколькими учеными, оно может считаться достоверным фактом. Во-вторых, пытаюсь са-

мостоятельно проверить какую-либо идею, вы сможете увидеть и такие явления, о которых в книге не говорится. Такие неожиданные наблюдения приведут к новым знаниям и новым открытиям. Держите широко открытыми глаза и уши, повторяя описанные в книге исследования, и вы, скорей всего, сделаете собственные открытия.

Ванна сравнительно безопасное место, но только пока вы в ней осторожны. Множество людей, поскользнувшись, падают в ванне по причинам, о которых мы поговорим попозже. Поэтому, стоя в ванне или возле нее, не следует делать резких движений, особенно, если пол и дно ванны влажные и скользкие. Не используйте также для опытов стеклянные сосуды. Они падают и разбиваются, а острые осколки стекла трудно обнаружить в ванне.

А теперь перейдем к делу.

2. ВОЛНЫ

Посмотрите на наполненную ванну, когда поверхность воды спокойна. Бросим в нее маленький тяжелый предмет, например, кусочек металла или камешек. Тотчас вокруг места, где камень ударился о воду, образуется волна и начнет кольцом расходиться по ванне. Если предмет не очень мал, можно наблюдать вторую и третью волны, следующие за первой, иногда целую цепочку волн. Для образования длинного ряда волн ванна мала, но такой ряд легко увидеть, бросив большой камень в пруд.

Почему образуется волна? Ударяясь о поверхность, предмет вытесняет воду. В результате маленький водяной холм вырастает вокруг предмета (рис. 1). Иногда вода выталкивается так быстро, что часть ее отрывается от поверхности и разбрызгивается во все стороны.

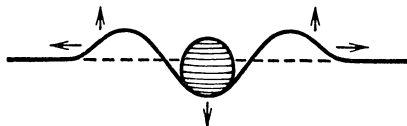
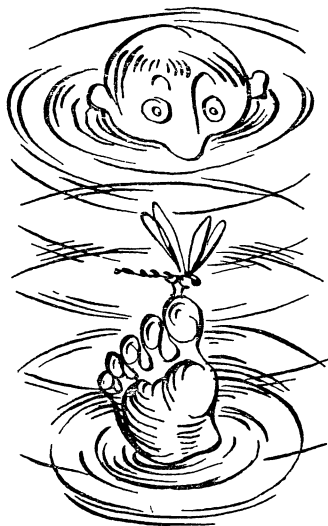


Рис. 1. Так образуется волна

Водяной холм, конечно же, не стоит на месте — вода вокруг точки, где предмет ударился о поверхность, приходит в сложное колебательное движение. Каждый небольшой объем воды движется вверх и вниз и вызывает аналогичное движение соседних с ним объемов, происходящее, однако, с некоторой задержкой во времени. Вы сами можете наблюдать колебания воды с помощью пробки или другого небольшого легкого предмета, плавающего на поверхности воды.

Создадим волну, бросив какой-нибудь предмет в воду. При прохождении волны пробка будет подниматься и опускаться. Требуется определенное время, чтобы колебания воды дошли до соседних участков. Какие-то участ-



ки воды уже поднимаются, в то время как соседние еще опускаются. Это легко видеть с помощью нескольких плавающих рядом пробок. Создав волну, вы обнаружите, что часть пробки поднимается вверх, а часть в это же время опускается вниз.

Но почему же волна продолжает распространяться даже после того, как вызвавший ее предмет уже лежит на дне? Камень нарушил равновесие воды и привел ее в колебательное движение. Это колебательное движение уже существует независимо от вызвавшей его причины — волна бежит во все стороны в то время, когда камень уже неподвижен. Колебания распространяются со скоростью, зависящей в основном от природы жидкости, в которой они образовались. В жидкостях типа меда или сиропа, очень вязких и тяжелых, по сравнению с водой, скорость волны очень мала, и волна затухает гораздо быстрее, чем в воде.

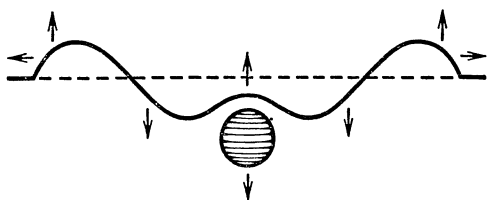


Рис. 2

Волны образуются не только при бросании в жидкость предметов, которые в ней тонут. Плавающие предметы при падении на поверхность тоже образуют волны, но их воздействие на жидкость не такое сильное. Волну можно вызвать, двигая вперед-назад в жидкости широкую пластинку. Почему бы не испытать все эти способы в ванне? Двигая ладонь вперед-назад, можно создать целую группу волн. Очень важно при этом найти правильный ритм, но после небольшой тренировки вы сумеете образовать

прекрасную вереницу волн. Образует ее в центре ванны. Посмотрим, что произойдет, когда первая волна достигнет стенки. Волна отразится от нее и пойдет в другом направлении.

Заметьте удивительный факт: волны, отразившись от стенок ванны, двигаются сквозь новые волны, которые продолжают создаваться рукой. Каждая волна идет в своем направлении не изменяясь, как будто встречной

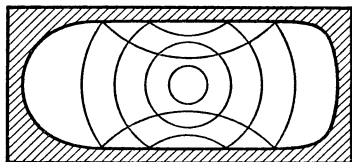


Рис. 3. Отражение волн в ванне

волны и не существует. Это важное свойство волн. Они проходят друг сквозь друга, не разрушая одна другую.

Теперь попытаемся создать волны, периодически двигая в воде пластмассовую чашку вверх-вниз в определенном ритме. Заметим расстояние между гребнями волн. Оно называется длиной волны. Затем сделаем движение чашки более частым, ускорим его ритм — волны идут теснее, длина волны стала короче. Замедлим ритм (уменьшив частоту движения) — гребни волн будут разделены большим расстоянием, длина волны станет больше. Предположим, что чашка поднимается и опускается один раз в секунду. Частота колебания будет равна одному колебанию в секунду, или 1 герцу (Гц). Если вы двигаете

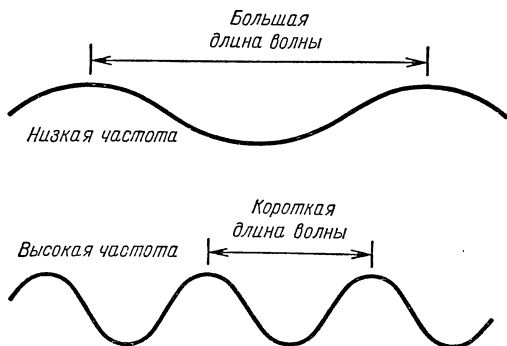


Рис. 4. Связь частоты с длиной волны

чашку вверх-вниз два раза в секунду, частота равна 2 Гц, а в случае, когда чашка поднимается и опускается пять раз в секунду, частота колебания равна 5 Гц. Увеличивая частоту, мы уменьшаем длину волны. Иными словами, волна большей частоты обладает более короткой длиной.

Бывает, что землетрясение вызывает внезапный подъем или резкий провал земной коры под водой. Это приводит, как и при движении чашки в ванне, к образованию волны, но только имеющей огромные размеры. Длина такой волны может составлять много километров (а частота — всего несколько колебаний в час), такие волны могут пересечь океан и двинуться на берег. Они известны под названием цунами и могут причинить страшные разрушения городам и поселкам на берегу моря за тысячи километров от места землетрясения.

Теперь вернемся в ванную комнату и оглянемся вокруг. Не обнаружим ли мы еще каких-нибудь других волн, кроме образовавшихся на поверхности воды? Они есть, и самые разные.

Днем Солнце посылает световые лучи через окно, ночью их испускает электрическая лампа. Световые волны для распространения не нуждаются в каком-либо веществе типа воздуха или воды. Они могут распространяться даже в пустом космическом пространстве между Солнцем и Землей.

Ученые называют эти волны электромагнитными, так как они имеют непосредственное отношение к электричеству и магнетизму. Длины волн видимого света очень короткие — около $1/200000$ м, а частота огромная — около 1 квадрильона (1 000 000 000 000 000) Гц. Для световых волн различного цвета длина волны разная — от $1/1200000$ м для красного до $1/2600000$ м для синего цвета.

Принесем в ванную комнату радиоприемник на батарейках и включим его. (Приемником, работающим от сети, пользоваться в ванной нельзя, так как во влажном помещении существует опасность поражения электрическим током.) Радиоволны позволяют нам услышать передачу, которая ведется со станции, удаленной от нас на много километров. Попадая в радиоприемник, эти волны проходят сквозь стены комнаты. Радиоволны — это тоже электромагнитные волны, но с гораздо большей длиной и более низкой частотой, чем волны видимого света. Длина радиоволн, на которых ведется большинство передач,

составляет десятки-сотни метров, а частота — около миллиона герц.

Находясь в ванной комнате, вы можете услышать голос зовущей вас матери. Она довольно далеко от вас — в кухне. Как вы узнаете, о чем она говорит? Звуковые волны, возбуждаемые ее голосовыми связками, распространяются по воздуху и достигают ваших ушей. Звуковые волны, передающие человеческие голоса, имеют обычно длину в несколько метров и частоту в несколько сотен герц.

Волны играют очень важную роль в нашей повседневной жизни. Световые волны жизненно необходимы не только потому, что они обеспечивают способность видеть, но и потому, что они — основной источник энергии для питания растений. С помощью радиоволн и связанного с ними телевидения осуществляется почти вся система связи на больших расстояниях. Звуковые волны позволяют людям общаться на коротких расстояниях. В двух следующих разделах мы подробнее остановимся на важнейших видах волн. Но исходным пунктом наших исследований по-прежнему будет служить ванна.

ЗАДАЧИ

1. Перед вами небольшая лодка, стоящая в воде залива на якоре. Ветер дует от берега и вызывает небольшое волнение на поверхности воды. Вы заметили, что лодка покачивается с периодом 4 секунды, когда под ней проходят волны. Расстояние между гребнями соседних волн примерно такое же, как и длина расположенной рядом 10-метровой лодки. Какова скорость распространения волны? За сколько времени волна достигнет выхода из залива, находящегося в 0,4 км от лодки.

2. Какова скорость распространения радиоволн, если станция, работающая на частоте 1 000 000 Гц, создает волны длиной около 300 м?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Найдите в вашей местности возвышение с видом на озеро или другой большой водоем. С этой точки наблюдайте за волнами, которые образуются лодками. Возьмите фотоаппарат, снимите картину через некоторые интервалы времени, а потом изучите ее.

2. Бросьте два камня в спокойный пруд или озеро. Понаблюдайте за процессом прохождения волн друг сквозь друга.

3. Покройте стенку ванны полотенцем. Отражаются ли волны от полотенца так же, как они отражались от стенки? Как повлияет на отражение волн прикладывание к стенке других материалов, например дерева, металла и т. д.

Давайте закроем слив и прикроем кран так, чтобы вода текла в ванну не очень быстро. Станем на колени (подложив коврик, конечно) и приложим ухо к стенке ванны против того места, куда попадает струя. Что мы слышим? Теперь поднимем голову — звук изменился? Повторим опыт несколько раз, чтобы убедиться в этом.

Выключим воду и откроем слив ванны. Вслушайтесь, приложив ухо к ванне. Поднимите голову. Слышите шум воды, вытекающей из ванны? Как он лучше слышен, через стенки или по воздуху? Звук, проходящий через твердый материал, слышен гораздо отчетливее, чем достигающий нас по воздуху. Почему это так?

Задумаемся о происхождении звуков — вот стукнула дверь, ударили молотком по гвоздю, проехала машина, вы прошли по твердому полу. Звук всегда вызывается каким-либо механическим движением. Столы, стены, пол, большинство других предметов от толчка не приходят в видимое движение, если только он не очень силен. Но они способны несколько прогибаться, и в результате возникает их легкое движение вперед-назад, вибрация.

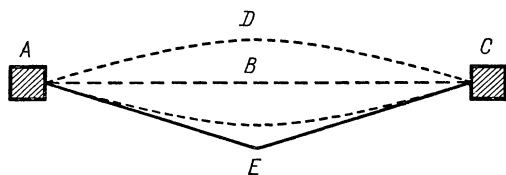


Рис. 5. Так колеблется натянутая струна

Туго натянутая струна или резиновый шнур — ABC хорошо иллюстрируют природу колебаний. Предположим, что мы оттянули середину струны из нормального положения B в положение E (рис. 5). Струна натягивается, и, когда мы ее отпустим, она вернется назад в

точку *В*. Но в момент возвращения в свое нормальное положение *В* она будет двигаться. Продолжая движение, но постепенно замедляясь, она остановится в точке *Д*, уже по другую сторону от своего первоначального положения. Теперь струна снова натянута и должна двигаться назад к точке *В*. Она пройдет эту точку и отклонится почти до точки *Е*, после чего опять повернет назад. Со временем, после многих таких колебаний струна вернется в состояние покоя.

Подобным способом происходят колебания твердых упругих предметов, если какой-то участок тела толкнуть и вывести из нормального состояния. Колебания одной части предмета оказывают влияние на остальные части. Колеблющиеся участки тянут и толкают соседние, и те тоже начинают колебаться. В свою очередь, они приводят в движение окружающие их участки и т. д. Таким образом, колебания, созданные в одной точке тела, передаются другим его точкам по всем направлениям, так что через какое-то время колеблются все точки внутри сферы с центром в источнике колебаний. Так распространяется звуковая волна в твердом материале.

Теперь понятно, почему мы слышим звук падающей на дно ванны воды, приложив ухо к стенке ванны. Колебания дна, вызванные падением воды, передаются стенкам и по твердому веществу, из которого сделана ванна, доходят до наших ушей.

Но почему же, подняв голову, мы все равно продолжаем слышать звук? Между стенками ванны и ухом находится вещество — воздух. Как и все вещества, он состоит из крошечных частиц, называемых молекулами, но отстоят они друг от друга на гораздо большие расстояния, чем в жидкостях или твердых телах. Поэтому воздух прозрачнее и легче воды или стали. Но он все-таки может передавать звуковые волны. Воздух — тоже упругое вещество, его даже накачивают в шины автомашин для уменьшения тряски. Эта упругость делает воздух и другие газы достаточно хорошими проводниками звуковых волн. В результате мы можем слышать звуки, распространяющиеся по воздуху почти так же, как и по твердому материалу.

Вернемся к нашим опытам со звуками в ванне. Падающая вода вызывает колебания твердого материала, из которого она сделана. Вода и стенки ванны заставляют колебаться прилегающие слои воздуха, и звуковая волна по воздуху достигает наших ушей. Она прогибает бара-



банную перепонку, специальные нервы внутреннего уха посылают сигналы об этих колебаниях в мозг, который расшифровывает полученные сигналы, и в итоге мы воспринимаем звук.

Но раз звуковые колебания распространяются через твердое вещество и газы, не могут ли они распространяться и через жидкость? Находясь в очень большой ванне, например бассейне, и погрузив голову целиком в воду, вы легко можете услышать всплески, исходящие от другого пловца. В озере или в море вы услышите шум моторов отдаленных катеров.

Звук проходит через любое вещество — твердое, жидкое и газообразное. Но он не может пройти через вакуум — пространство, где нет частиц какого-либо вещества.

Можно ли на Земле услышать гул двигателя космического корабля, пролетающего где-то в открытом космосе? Нет, потому что там нет воздуха или иного материала, способного передать звуковые колебания на Землю. Конечно, на борту корабля мы можем превратить звуки в радиоволны, послать радиоволны на Землю и тут превратить их снова в звуковые с помощью радиоприемника. Но в этом случае безвоздушное пространство пересекает не звук, а радиоволны, имеющие совсем другую природу.

Пение в ванной комнате

Любите ли вы петь в ванне? Даже если нет, то очень многим людям это нравится, и по весьма интересной причине. Дело тут не столько в ванне, сколько в ванной комнате. Поэтому для данных исследований не обязательно лезть в ванну.

Попробуйте спеть в ванной комнате, закрыв дверь, затем повторите это в большей комнате. А лучше споем песню — другую на улице, когда поблизости никого не будет (если вы стесняетесь слушателей). В ванной комнате звук вашего голоса сильнее, а некоторые тона звучат особенно громко и полно.

Почему же в ванной комнате поется гораздо легче, чем на улице или даже в зале? Одна из причин этого кроется в том, что звуковые волны отражаются от твердых тел — стен, потолка и пола ванной комнаты. Другая связана с существенным различием между шумом и музыкальными звуками.



Давайте подробнее рассмотрим распространение звуковых колебаний. Пусть звуковая волна движется от нас к стене, как показано на рис. 6 штриховой линией *A*. Когда волна достигает стены, она отражается и начинает двигаться уже в противоположном направлении (штриховая линия *BC*). Достигнув другой стены, она опять отражается, как показано на рисунке (линия *D*). Тем временем другие волны выходят из нашего рта и

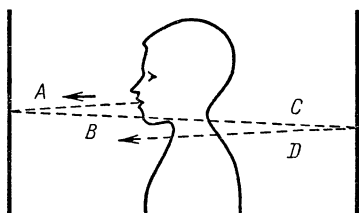


Рис. 6. Отражение звуковых волн от стен

складываются с общим звучанием. В результате создается более громкий звук, чем в обычных условиях. На открытом же пространстве звук просто разойдется во всех направлениях, не отражаясь и не возвращаясь к нам. В ванной комнате стены создают хорошую отражающую поверхность. При каждом отражении, конечно, какая-то

часть энергии колебаний теряется, но большая ее часть все же отражается. В то же время, мягкий ковер или шторы на окнах практически не отражают звук, а поглощают его. Поэтому в комнате с ковром, мебелью с мягкой обивкой и шторами труднее создать звук такой же силы, как в ванной. Чтобы убедиться в этом, попробуйте спеть в такой комнате.

А теперь опять споем в ванной. Но только один, очень низкий звук. Так низко, как только можете. Потом возьмем другой тон — повыше, потом еще выше, еще, и наконец, самый высокий, который вы способны произвести. Вы обязательно заметите, что существуют несколько музыкальных тонов, звучащих громче остальных. Их называют резонирующими. В чем причина такого эффекта? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо выяснить различие между простым шумом и музыкальными звуками.

В предыдущем разделе мы обнаружили, что, когда волны создаются периодическим движением, скажем, колебаниями ладони вперед-назад, то волна имеет определенную частоту, задаваемую ритмом движения ладони. При таких правильных колебаниях существует определенное расстояние между гребнями волн — иначе говоря, определенная длина волны. Кроме того, изучая волны на воде, мы заметили, что высокая частота соответствует короткой длине волны.

Но представим себе, что движение ладони неритмично, она просто беспорядочно взбалтывает воду. В этом случае волны не имеют определенной частоты и длины волны. Ситуация с звуковыми волнами аналогична. Музыкальный звук представляет собой волны того же типа, что и образованные периодическим движением ладони в воде, в то время, как шум — это неправильные волны, похожие на вызванные взбалтыванием воды.

Дерните струну гитары, и вы, наблюдая за ее контуром, заметите, что она колеблется с очень большой частотой. Эти колебания имеют строгую периодичность. Одна струна может колебаться с частотой 200 раз в секунду, другая — 232 раза, а третья — 1050 раз. Каждая частота соответствует определенному музыкальному тону. Частота 200 раз в секунду означает, что каждое колебание следует за предыдущим ровно через $1/200$ секунды. Колебания струны настолько регулярны, что на их основе можно сконструировать очень точные часы. И, действительно, в одной из моделей часов время отмеряли не колебания

пружины или маятника, а маленького камертона, издающего слабый музыкальный звук.

Большинство людей начинают различать звук с очень низкого тона частотой около 20 колебаний в секунду (20 Гц). Самый низкий тон на фортепиано (последняя клавиша слева) соответствует частоте 27 Гц. Клавиши в середине клавиатуры дают тона с частотой несколько сотен колебаний в секунду, клавиши в правом конце дают очень высокие звуки с частотой колебаний несколько тысяч герц. Некоторые пожилые люди перестают слышать звуки начиная с 10 000 Гц. А при частоте выше 20 000 колебаний в секунду звуки становятся неразличимыми для всех людей, хотя животные — собаки, летучие мыши, дельфины и другие — могут услышать и эти тона. Этим как раз и пользуются дрессировщики в цирке. Они проделывают самые удивительные трюки, например, с собаками, с помощью маленьких свистков, издающих звуки с частотой более 20 000 Гц. Так собаку можно «научить считать». Это не значит, что она может производить вычисления. Просто она научена лаять всякий раз, как услышит свист, неразличимый для зрителей. Спрятанный помощник свистит столько раз, сколько надо пролаять «ученому» псу, публика же при этом находится в полной уверенности, что он умеет считать.

Таким образом, звук является музыкальным и имеет определенную высоту тона только тогда, когда колебания являются периодическими, как показано на рис. 7, а, б. Шум же (рис. 7, в) — просто набор хаотических колебаний. Поэтому у шума нет определенной частоты. Вот вы хлопнули ладонью по стене. Раздавшийся при этом звук

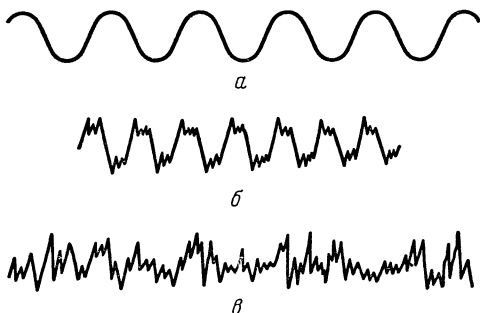


Рис. 7. Волны различных звуков: а) чистый музыкальный тон; б) музыкальный тон с дополнительными тонами (обертонами); в) шум

представляет собой смесь колебаний, создаваемых многими источниками. Воздух вытесняется из пространства между ладонью и стеной — это создает одни колебания. Колеблется сама ладонь, порождая другой тип колебаний. Стена сделана из различных материалов — штукатурки, дерева или металла, и у этой сложной конструкции — свои собственные колебания. Все вместе такие вибрации, наложенные друг на друга, воспринимаются нами как шум. Когда же мы поем музыкальную ноту определенной частоты, голосовые связки колеблются строго регулярно, подобно скрипичной струне, образуя периодические звуковые волны. Такая же регулярность присуща всем музыкальным инструментам, независимо от того, чем вызваны колебания — струнами, как в скрипке, или воздухом, как в флейте.

Представим себе, что мы поем так, что наши голосовые связки, а следовательно, и воздух колеблются 200 раз в секунду. В каждом веществе звуковые волны распространяются со строго определенной скоростью. В воздухе скорость звука составляет 330 м/с. Что происходит, когда мы издаем звук с частотой 200 Гц? Ко времени, когда последующее колебание только зарождается, начало предыдущего отошло уже на $1/200$ от 330 м, т. е. на 1,65 м. Третье колебание будет отставать от второго тоже на 1,65 м. Таким образом, колебания следуют друг за другом с интервалом 1,65 м, т. е. длина волны составляет 1,65 м, как показано на рис. 8, а.

Далее предположим, что мы берем более высокий тон — 550 колебаний в секунду. Длина волны теперь будет $330 \times 1/550 = 0,6$ м. Это расстояние намного меньше,

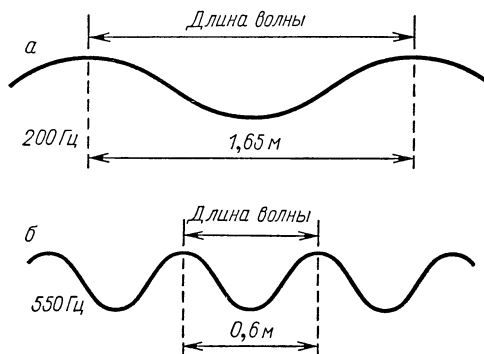


Рис. 8. Звуковые волны различных частот

чем в предыдущем случае. Длина волны для звука с более высокой частотой, следовательно, короче (см. рис. 8, б).

Теперь представим себе, что звук с частотой 200 Гц и длиной волны 1,65 м создается внутри помещения длиной 1,65 м, в точности совпадающей с длиной волны этого звука.

Тогда отраженные стенками волны могут при сложении усиливать друг друга. Колебания в этом случае происходят согласованно, в такт, и в результате создаются громкие, резонирующие, звуки.

Если же размеры помещения несколько больше или меньше 1,65 м, такого согласования колебаний уже не будет, что отразится на общей интенсивности звука. Поэтому, например, для звука с длиной волны 0,6 м и высотой 550 Гц такое помещение не подошло бы для приведения в такт колебаний в отраженных волнах. Нужна была бы комната или ящик длиной 0,6 м. Таким образом, каждое помещение лучше всего резонирует со звуками, длина волны которых соответствует размерам помещения.

Определенные размеры ящиков или комнат, названные выше, не являются единственными, необходимыми для резонанса со звуками высотой 200 и 550 Гц. На самом деле ящик, длина которого, например, в два раза меньше (или больше) этой длины, тоже будет резонирующим. Кроме того, надо помнить, что у ящика или ванной комнаты кроме длины есть ширина и высота, не совпадающие с длиной. Волны могут отражаться также от кривых поверхностей, например, самой ванны. В вашей ванной комнате могут оказаться резонансные условия для целого ряда тонов.

Когда вы поете в большой комнате, звукам требуется больше времени, чтобы дойти до стен и отразиться, а расходясь на большие расстояния, они теряют свою силу. Кроме того, обычно размеры комнаты не являются резонирующими с тонами, на которых мы поем. Так, большая жилая комната прекрасно резонирует с самым низким тоном, который способен издать орган, потому что длина волны этого тона 6—9 м. Но она слишком велика, чтобы резонировать со звуками, производимыми нашими голосовыми связками, когда колебания имеют длину волны 0,3—0,9 м.

В таком случае, не будет ли маленький ящик лучшим резонатором для человеческого голоса, чем ванная комната? Псчему бы не попробовать? Возьмите картонную

коробку, закрытую со всех сторон. Прорежьте на одной из ее широких сторон круглую дыру диаметром 5—7 см. Попробуйте спеть перед этим отверстием, начав с самых низких тонов и, постепенно набирая высоту, добраться до самых высоких. Резонировала ли коробка с каким-нибудь из этих тонов? Проведите тот же опыт с молочной бутылкой, бутылкой из-под лимонада или кувшином. В результате вы можете удивиться, узнав, что нечто такое маленькое, как молочная бутылка, способно резонировать с музыкальным тоном.

Вы, наверняка, когда-нибудь задумывались, почему скрипка или виолончель имеет такую странную форму. Эта форма подобрана так, чтобы различные музыкальные тона могли найти свою собственную резонансную длину в одном из направлений внутри корпуса. Например, очень высокие тона с короткой длиной волны находят необходимое им расстояние между деками корпуса скрипки. Средние тона находят свою резонансную длину поперек корпуса, а низкие, с большой длиной волны,— вдоль корпуса. S-образные вырезы на верхней деке скрипки под струнами — это места, откуда резонансные звуки начинают распространяться во все стороны и достигают слушателей. Почему корпус виолончели намного больше, чем у скрипки? Струны виолончели длиннее, массивней и не так туго натянуты, как у скрипки, и поэтому колеблются они медленней, чем скрипичные. Виолончель издает невысокие музыкальные тона — с низкой частотой и большой длиной волны. Эти длинноволновые звуки требуют большего резонирующего объема, соответственно корпус виолончели должен быть больше, чем корпус скрипки. В инструментах типа ксилофона звуки создаются ударом молоточка по вибрирующим пластинкам разного размера. Под каждой такой пластинкой расположена полая резонирующая камера, которая делает звук, издаваемый пластинкой, намного громче.

Как же мы это так — начали с ванной комнаты, а кончили скрипкой? Это и есть одно из волшебств науки. Законы физики обладают удивительным свойством: они применимы ко всему, что нас окружает, включая ванные комнаты, молочные бутылки и скрипки.

ЗАДАЧИ

1. Почему при выступлении оркестра в большом зале музыка звучит по-разному в зависимости от того, заполнен зал людьми или пуст?

2. Удар грома вы услышали через 25 с после того, как увидели вспышку молнии. На каком расстоянии сверкнула молния?

3. На каком расстоянии находится утес, от которого эхо вернулось через 1,3 с после вашего крика?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. На с. 24 было сказано, что скорость звука в воздухе составляет 330 м/с. Как можно убедиться в этом на конкретном опыте? Давайте попробуем сами измерить скорость звука в воздухе.

2. Большое здание, стоящее возле открытого, не очень крутого склона, — прекрасное место для получения эха. Встаньте, например, в 6 метрах от здания и крикните что-нибудь. Слышите эхо? Повторите опыт, отойдя на 13, 20, 25, 35 м (расстояние можно измерять складным метром). На каком расстоянии вы перестали слышать эхо? Как можно объяснить, что существует максимальное расстояние, с которого оно слышно?

3. Можем ли мы ожидать, что скорость звука в воздухе на большой высоте такая же, как и на уровне моря? Будет ли она в стальном рельсе такой же, как в воде или воздухе? Больше она в воздухе или меньше? Возможно, вам захочется найти в книгах более точные сведения о скорости распространения звука в различных веществах.

Подумайте, как работает ультразвуковой локатор для подводных исследований. (Аналогичные системы используются дельфинами и летучими мышами для ориентации в темноте.)

В двух предыдущих разделах мы исследовали волны, которые образуются на поверхности воды, и звуковые волны. Теперь рассмотрим другой вид волн — световые.

Нальем в ванну воду так, чтобы ее глубина составляла около 10 см. Закроем кран и подождем несколько минут, пока вода успокоится. Посмотрев вниз, мы увидим свое зеркальное изображение, довольно ясное. Сделаем его ярче, поднеся к лицу карманный фонарик. Пошевелим в воде пальцами — изображение исказится, заколышется, а через некоторое время опять вернется к первоначальному виду. Взболтаем воду сильнее. На этот раз изображение может и вовсе исчезнуть.

Почему поверхность воды создает зеркальное изображение? Почему оно не такое четкое, как в обычном зеркале? Почему карманный фонарик у лица делает его ярче? Почему изображение исчезает, когда поверхность воды становится неровной?

Лучше всего, прежде чем отвечать на эти вопросы, погасить свет в ванной комнате и направить карманный фонарик на поверхность воды. Желательно, чтобы пучок света был бы как можно более узким, поэтому наденьте на фонарик картонную трубку или трубку из скатанных и склеенных листов бумаги. Тогда пучок света почти не будет расходиться (будет параллельным), как показано на рис. 9. Направим его на поверхность воды и посмотрим, что из этого получится. Сначала держите фонарик наклонно. Отражается ли хотя бы часть света от поверхности воды? Существует несколько способов проверить это. Один из них — увидеть пятно света на стене возле ванны. Если в воздухе есть пылинки, то иногда можно даже увидеть отраженный пучок света. Вы можете создать искусственную запыленность воздуха — например, рассыпать немного порошка талька над пучком. Можно сжечь кусок бумаги, создав немного дыма на пути отра-

женного пучка. Частички, взвешенные в воздухе, рассеивают свет и делают пучок видимым.

Попробуйте также поднести руку к световому пятну, туда, где пучок от фонарика падает на поверхность воды. Можно «поймать» яркое пятно, которое укажет, в каком направлении отражается свет. Медленно поднимайте руку и следите за пучком вплоть до пятна на стене.

Посмотрим, под каким углом свет падает на поверхность воды и под каким отражается от нее. Для этой цели больше всего подходит способ наблюдения с помощью порошка талька или дыма. Что вы можете сказать относительно углов, под которыми луч падает на воду и отражается от ее поверхности? Вы должны согласиться,

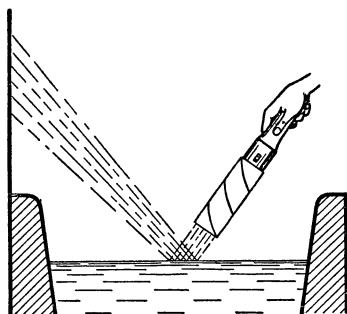


Рис. 9. Отражение света от поверхности воды

что они равны. Попробуйте изменить наклон луча. Посмотрим, изменился ли угол отражения. На рис. 10 показаны некоторые типичные случаи отражения. Если световой луч входит в воду под небольшим углом (а), как бы скользит по воде, отражение происходит под тем же небольшим углом. Когда угол между лучом и поверхностью воды больше (б), то и отражается луч под большим углом. Если же пучок падает вниз почти вертикально (в), отражение происходит тоже почти вертикально.

Теперь посветим карманным фонариком вниз на воду под таким углом, чтобы на стене образовалось световое пятно, и при этом сделаем поверхность воды неровной, например, поболтаем в ней пальцем. Что произойдет с четким, ярким пятном на стене? Оно расширяется, становится размытым и искаженным, колыхается.

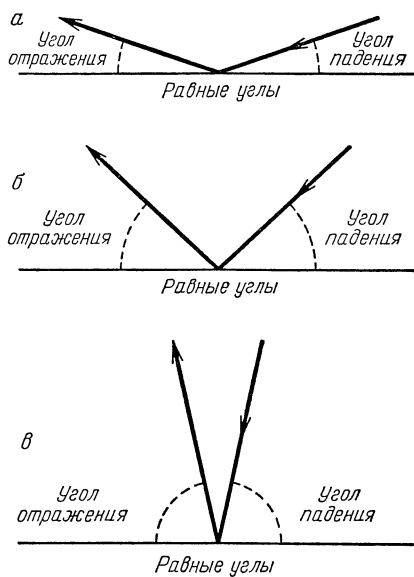


Рис. 10. а—в— три случая отражения

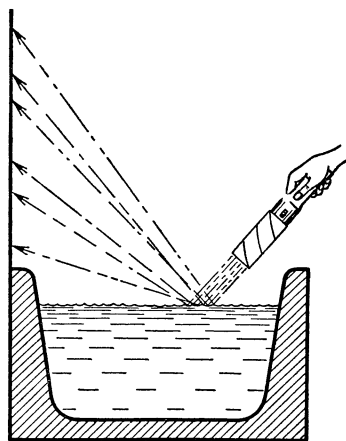


Рис. 11. Отражение света от волнистой водной поверхности

Множество лучей (узких пучков света) от фонарика падают на поверхность воды под почти одинаковыми углами. Если вода спокойна и ее поверхность ровная, она отразит эти пучки под одинаковыми углами, и пучок отраженного света будет, как и падающий, почти параллельным. Поэтому на стене образуется четкое яркое пятно. Когда мы потревожили воду, ее поверхность начинает колебаться. По-прежнему каждый узкий луч в пучке света будет отражаться под тем же углом, под которым он упал на поверхность воды, но теперь каждый участок поверхности, колеблясь, меняет свою ориентацию. Из-за этого делается переменным угол падения каждого луча в пучке, меняется и угол его отражения. Пятно на стене становится размытым, поскольку у каждого луча свое, отличное от других, место на стене, куда он попадает отражаясь. Пучок света пляшет и расширяется в зависимости от того, насколько взволнована поверхность воды. Таким образом, вы видите, что только гладкая отражающая поверхность может дать четкое изображение. Неровная поверхность размывает изображение.

По какой же причине поверхность воды создает зеркальное изображение? Предположим, человек смотрит в воду, пытаясь увидеть отражение небольшого пред-

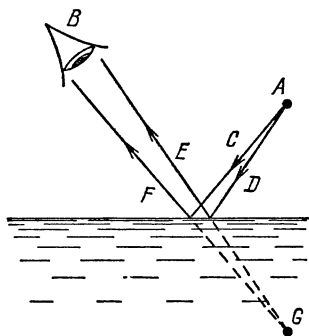


Рис. 12. Так формируется зеркальное изображение

мета *A* (рис. 12). Его глаз *B* для наглядности сильно увеличен на рисунке. Допустим, что лучи света от Солнца падают на объект и отражаются от него.

Большинство предметов не бывают такими гладкими, как поверхность спокойной воды или зеркала. Оказывается, что если на поверхности предмета имеются не-

ровности размером всего $1/10000$ см, то этого уже достаточно, чтобы рассеивать свет во всех направлениях. Предположим, что поверхность предмета A имеет такие неровности. В результате какие-то лучи C и D , исходящие от Солнца и отражающиеся от предмета, падают на поверхность воды, а затем попадают в глаз наблюдателя (E , F), как это показано на рисунке. Обратите внимание, что лучи C , D расходятся, двигаясь по направлению к воде. Упав на воду и отразившись от ее поверхности, каждый под своим собственным углом, они продолжают расходиться на пути к глазу. Глаз не может определить, откуда к нему пришли лучи на самом деле. Ему кажется, что они пришли из точки G , лежащей под водой. Другими словами, он видит изображение предмета под поверхностью воды. Чаще всего предметы не такие маленькие, как показанный на рисунке (A). Однако на ход рассуждений это не влияет. Каждый участок большого предмета создает свое собственное изображение. Изображения всех участков складываются в изображение, которое выглядит так же, как и сам предмет. Конечно, чтобы создать такое изображение, нужна очень гладкая поверхность. Лучи должны отражаться от нее так, чтобы у изображения создавалось правильное расположение частей предмета, т. е. чтобы они располагались по отношению друг к другу после отражения так же, как и до него. Это условие прекрасно выполняется на плоской гладкой поверхности. Неровная поверхность разрушает зеркальное изображение, отражая лучи в произвольных направлениях.

Любая гладкая поверхность отражает свет, как и спокойная поверхность воды. Большинство зеркал изготавливаются из очень гладкого стекла, покрытого тонким слоем хорошо отражающего металла (часто серебра). Хорошо отполированный стол или натертый пол, оконное стекло тоже дают зеркальное изображение. Блестящий корпус автомобиля тоже даст такое яркое изображение, но поскольку его поверхность изогнута, то изображение будет искаженным.

Почему отражение в воде не такое яркое, как в зеркале? На это есть несколько причин. Осветим карманным фонариком доверху наполненную водой ванну. Весь ли свет отражается? Нет, большая часть светового потока проходит через воду и освещает дно ванны. А доля отраженной световой энергии очень невелика — только около 10 %. В зеркале имеет место обратное соотношение: металл, покрывающий обратную сторону стекла, отражает

почти весь свет, попадающий на него, — 95 %. Поэтому изображение в хорошем зеркале гораздо ярче изображения, создаваемого поверхностью воды.

Вторая причина ослабления яркости изображения заключается в том, что, когда вы смотрите в воду, свет висящей под потолком лампы или солнечный свет из окна падает не прямо в лицо, а освещает его, отражаясь от стен, пола, ванны. При этом лицо плохо освещено, и изображение получается сумрачным. Подсвечивая лицо фонариком, мы получим более яркое изображение, так как часть света фонарика, отразившись от лица, падает на поверхность воды, а от нее — в наши глаза.

«Изгиб» прямой палки

Что происходит со светом, который не отразился от поверхности воды в ванне, а прошел в воду? Давайте сделаем следующее: заполним ванну до обычного уровня и опустим в воду немного наклонно прямую палку. Посмотрев на палку, вы убедитесь, что она больше не кажется прямой. Та часть, которая находится под водой, как бы загнута кверху. Чуть-чуть вытянем палку из воды. По-прежнему наружная ее часть совершенно прямая, а часть, оставшаяся под водой, загнута кверху. Вытащим совсем палку из воды. Она опять окажется прямой. Изогнутость полностью исчезла.

Конечно, ясно, что на самом деле палка не изгибалась и не разгибалась в зависимости от ее положения в воде. Можно попытаться потрогать место «изгиба» под водой — вы убедитесь, что его попросту не существует. Здесь явно имеет место оптический обман, при котором мы видим то, чего нет на самом деле. Зеркальное изображение тоже ведь по сути обман такого рода. Предметы, которые мы видим за зеркалом, находятся на самом деле не там, а совсем в другом месте.

Исследуем это явление подробнее. Возьмем фонарик с надетой на него трубкой. Затемним ванную комнату так, как только это возможно. Включим фонарик и направим луч света в воду. Будем теперь наклонять фонарик так, чтобы он светил то вертикально вниз, то почти вдоль поверхности воды. Вы заметите, что пучок света резко изламывается в том месте, в котором он входит в воду. В воздухе он идет совершенно прямо и совершенно прямо идет в толще воды, но на границе воздуха и воды луч изменяет направление, загибаясь вниз.

Вы, должно быть, найдете противоречие в том, что палка в воде казалась изогнутой кверху, а световой пучок — изогнутым книзу. Это различие хорошо видно на рис. 13 и 14. Такое кажущееся противоречие легко

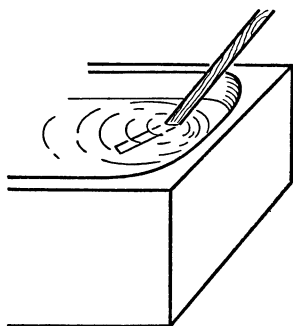


Рис. 13. Палка, опущенная в воду, выглядит изогнутой

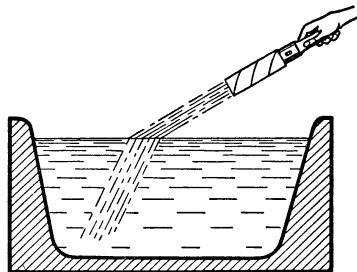


Рис. 14. Свет изменяет свое направление при входе в воду

объяснить, если подробно разобраться в ходе световых лучей.

На рис. 15 показана прямая палка AB , какой она является на самом деле. Глаз наблюдателя, расположенный над поверхностью воды, улавливает свет, отраженный

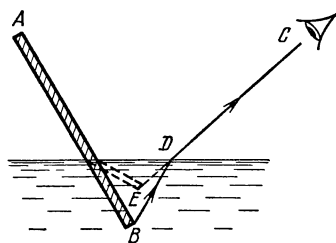


Рис. 15. Вот почему кажется, что предметы в воде находятся на меньшей глубине

от конца палки B . Но этот луч света не идет прямо, он преломляется в точке D и следует по пути BDC , попадая в наш глаз.

Наблюдатель не знает истинного пути светового луча, попавшего в его глаз. Луч входит в глаз по направлению DC , поэтому наблюдателю кажется, что он и до точки



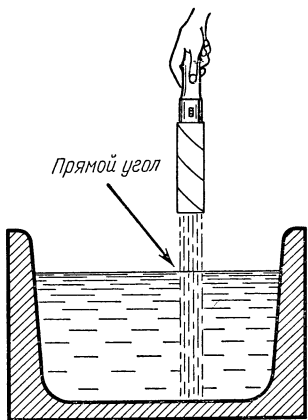
D шел по продолжению прямой DC , т. е. что конец палки расположен где-то возле точки E . Заметим, что точка E расположена выше, чем точка B , и палка представляется нам изогнутой кверху. Кроме того, палка кажется короче, чем она есть на самом деле. Эти две особенности характерны для любых предметов, погруженных в воду. Подводная часть предмета, не полностью находящегося в воде, кажется более короткой, и все предметы под водой кажутся ближе к поверхности, чем в действительности.

Занимались ли вы когда-нибудь ловлей рыбы острогой. Если да, то вам, конечно, известно, как трудно

поймать рыбу. Причина заключается в том, что рыба находится совсем не там, где нам кажется. Если целиться непосредственно в рыбу, острога пройдет слишком высоко. Таким образом, целиться нужно ниже, учитывая искривление световых лучей, создающих изображение рыбы в нашем глазу.

Только в одном случае параллельный пучок лучей не будет изгибаться: когда он направлен вертикально, т. е. прямо вниз. Свет входит в воду в этом случае под прямым углом и движется вниз без излома.

Рис. 16. При падении под прямым углом свет не преломляется



Изменение направления светового луча при переходе из одного прозрачного вещества (например, воды или стекла) в другое прозрачное вещество (например, воздух) называется преломлением. Это очень важное свойство световых лучей. На преломлении основано действие всех оптических приборов, в состав которых входят линзы. В основе зрения людей и животных тоже лежит преломление света линзами глаз.

Много интересного можно еще обнаружить, изучая световые лучи в ванной комнате, но пусть это станет целью ваших самостоятельных исследований. Начать вам помогут наши вопросы и задания.

ЗАДАЧИ

1. Посмотрите в окно в солнечный день. Оконное стекло кажется совсем прозрачным, невидимым. Ночью же в стекле отчетливо видны зеркальные изображения находящихся в комнате предметов.

Наоборот, если вы стоите снаружи и смотрите в комнату через окно, то отражения видны днем, а ночью их не будет. Как вы могли бы это объяснить?

2. Благодаря большим зеркалам на стенах комната кажется намного просторнее, чем она есть на самом деле. Почему это происходит?

3. Когда вы открываете глаза под водой в чистом озере или бассейне, очертания предметов на дне кажутся вам размытыми. Но если вы воспользуетесь подводной маской с прозрачными стеклами так, чтобы между глазами и стеклами маски был воздух, то все станет видно очень четко. Как это объяснить?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Скрепите два тонких зеркала, совместив их края, и поставьте зеркала на цветную картинку. Вы сможете увидеть в зеркалах яркие калейдоскопические узоры.

Раздвигая зеркала, наблюдайте за изменениями, происходящими с изображениями. Как они образуются?

2. Зеркальное изображение обращено по отношению к реальному предмету. Например, если вы, глядя в зеркало, закрываете левый глаз, ваше изображение закрывает правый. Но если вы используете систему двух зеркал, поставленных под прямым углом друг к другу, то обращенное изображение обратится еще раз, и предметы в зеркальной системе будут выглядеть такими, какими они являются на самом деле. Расположите зеркала под прямым углом и изучите свое изображение. Правда, странно? Сумеете ли вы причесаться, глядя на это «исправленное» изображение?

3. Попробуйте написать на листке бумаги свое имя, наблюдая за рукой в зеркало. Чтобы исключить прямое наблюдение, поставьте между глазами и рукой книгу. Вы обнаружите, что не в состоянии выполнить задуманное. Как это можно объяснить?

4. Сквозь наполненный водой стакан посмотрите на вертикально расположенный за ним карандаш. Подвиньте

карандаш влево, затем вправо. По какому пути, как вы видите, движется карандаш? Прodelайте это с карандашом, расположенным возле стакана, затем отодвиньте его на расстояние вытянутой руки. Объясните ваши наблюдения.

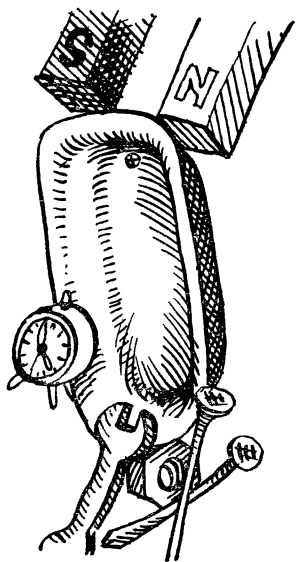
5. Прочитайте об отражении света в выпуклых и вогнутых линзах и о том, как они образуют изображение. Вы можете исследовать действие таких линз с помощью ненужных очков. В очках для пожилых людей, склонных к дальнозоркости, используются, как правило, выпуклые линзы, в очках для близоруких — вогнутые.

Из чего сделана ванна? Задумывались ли вы когда-нибудь над этим? А ведь это очень простой, естественный вопрос. И очень просто найти ответ на него. Любой магнит поможет вам в этом.

Вы, конечно, знаете, что предметы, притягивающиеся к магниту, сделаны, в основном, из железа. Среди обычных железных предметов, которые «прилипают» к магниту, скрепки для бумаг, кнопки, гвозди, болты, гайки, металлические части таких инструментов, как молоток, клещи, отвертка. Если какой-либо из этих предметов не притягивается к магниту, это значит почти наверняка, что он сделан не из железа, а из другого материала.

Есть еще только один распространенный чистый металл, который притягивается к магниту — никель. Он входит в состав некоторых монет. Но в монетах большинства стран никель смешан с другими металлами, и образующиеся сплавы магнитом не притягиваются.

Металлические изделия из алюминия, меди, бронзы, свинца не способны притягиваться к магниту. Не способны к этому и предметы из пластмассы, бумаги, дерева, ткани, резины, стекла и большинства других материалов. Железные предметы, покрытые краской, эмалью или подобными веществами, все равно притягиваются к магниту — такие покрытия не влияют на магнитные свойства железа. Следовательно, даже если предмет совершенно





не похож на железный, железо может быть обнаружено под внешним покрытием с помощью магнита.

Когда вы подносите магнит к стенке ванны, то сразу чувствуете, что ванна его притягивает. Это говорит о том, что она сделана, в основном, из железа или из чистого никеля. Так как чистый никель намного дороже железа, то трудно предположить, что этот материал используется для изготовления ванн. А значит, можно смело утверждать, что ванна сделана в основном из железа.

А из чего сделана раковина в ванной комнате? Почему бы не узнать и это самим?

Зачем ванну покрывают эмалью? Так как непосредственно исследовать металл в ванне не очень просто, используем в наших опытах обычную иглу. Давайте нальем воду в пластмассовый пузырек или блюдце, бросим туда иглку и отставим в сторону. Через день или чуть позже обнаружится, что игла заржавела. При встряхивании пузырька маленькие коричневые хлопья ржавчины появятся в воде, и вода может стать коричневой. Если вы сомневаетесь в достоверности наших слов, проделайте опыт сами. Будем каждый день заменять ржавую воду чистой. Продолжает ли игла покрываться ржавчиной? Что станет с ней через неделю? через месяц? через год?

Когда игла ржавеет, железо соединяется с газом (кислородом), который попадает в воду из воздуха, и превращается в другое вещество, называемое окисью железа. Оказывается, вода в значительной степени ускоряет этот процесс, и, если железо даже немного увлажнить, оно начинает быстро ржаветь.

Все ли металлы ржавеют? Попробуйте ответить на этот вопрос самостоятельно. Используйте медную монетку, серебряную ложку, алюминиевую фольгу, какой-нибудь латунный (т. е. сделанный из сплава меди с цинком) предмет, свинцовое грузило.

Что произошло бы с ванной, будь она сделана только из железа? Вы можете себе представить, как быстро бы она проржавела.

Как предотвратить этот процесс? Любое покрытие, не дающее воде и кислороду прямо контактировать с железом, мешает появлению ржавчины. Для этого подошла бы краска, но она легко скалывается с поверхности, а, кроме того, при длительном воздействии вода может ее испортить. Можно покрыть железо нержавеющей сталью. Например, анодированное железо — это железо, покрытое тонким слоем нержавеющей стали. Такой материал подошел бы для ванны, но стоит на ее поверхности появиться достаточно глубокой царапине, как это место начнет быстро ржаветь. Конечно, можно сделать ванну целиком из нержавеющей стали — латуни или меди. Но она будет слишком дорогой, намного дороже железной. Обычно ванны, которыми мы пользуемся, защищены эмалевыми покрытиями. На заводе ванна покрывается специальной пастой. Затем ее прогревают до белого каления, пока паста не превратится в твердый фаянс. Такое покрытие будет гладким, долговечным и стойким к царапинам и другим повреждениям. Оно не даст железу ржаветь.

Северный полюс и наша ванна

Какое же отношение имеет Северный полюс к нашей ванне? Посмотрите на свой компас и вы увидите, что концы его стрелки окрашены в разные цвета. Обычно направленный на север конец стрелки выкрашен в голубой цвет, а направленный на юг — в белый. Теперь, ровно держа компас, поднесите его к верхнему краю ванны. Можно увидеть, как голубой конец стрелки развернется и укажет на ванну. Затем положите компас на пол возле

ванны. В этом случае можно наблюдать, как стрелка будет указывать на ванну белым концом. Повторим опыт для разных участков сверху и внизу ванны. Все время вы будете наблюдать одно и то же: все участки в верхней части ванны притягивают к себе голубой конец стрелки компаса, а все участки ее нижней части — белый.

Чтобы разобраться в таком странном поведении компаса, необходимы некоторые сведения, которые можно получить, исследуя магнитный брусок.

Предположим, что такой магнит закреплен на дне маленького плоского пластмассового блюдца. Блюдце же опустим плавать в середину ванны, наполненной водой.

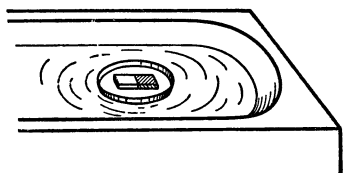


Рис. 17. Так можно сделать компас

Как вы думаете, что произойдет? Блюдце с магнитом начнет поворачиваться и, совершая небольшие колебания, наконец, установится так, что магнит будет расположен в определенном направлении. Если мы повернем блюдце, а потом отпустим, то оно снова развернется так, что определенный конец магнитного бруска укажет то же направление, что и раньше. Убедитесь в этом на собственном опыте.

Показывает ли магнит на север? Возьмем обычный компас, но отнесем его подальше от ванны или раковины, потому что, как мы уже видели, железо ванны влияет на способность компаса ориентироваться. Положим компас ровно на ладонь и понаблюдаем за стрелкой. Она

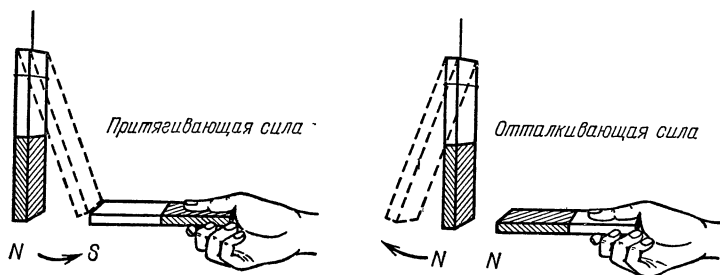


Рис. 18. Магнитное взаимодействие: разноименные полюса притягиваются; одноименные полюса отталкиваются

повернется так, что ее голубой конец укажет определенное направление. Это направление близко к северному (но не точно на север). Это же направление указывает магнит в блюдце.

Часто, сокращая слова «направленный на север» и «направленный на юг» конец (полюс) стрелки, мы говорим просто северный или южный полюс. Это удобно в повседневном обращении, но может приводить к ужасной путанице. Северный полюс магнита — это, конечно, не то же самое, что Северный полюс Земли. Северный полюс стрелки — это конец магнитной стрелки, который, если ему ничего не мешает, поворачивается так, чтобы указывать направление приблизительно на север. Северный полюс Земли — это географическое понятие, та точка на Земле, где проходит ось, вокруг которой Земля совершает вращение. Перепутать северный полюс магнита с Северным полюсом Земли — это все равно, что назвать птицей охотничью собаку только потому, что собака показывает, где находится птица.

Стрелка компаса — это магнит, который может свободно вращаться, так как закреплен на очень остром шпильке. Магнит в блюдце тоже может легко вращаться, так как плавает в воде. В обоих случаях мы имеем магниты, которые могут свободно поворачиваться. И оба они поворачивались в определенном направлении так, чтобы указывать почти на север. Мы говорим «почти», потому что северный конец магнитной стрелки компаса показывает не на географический Северный полюс, расположенный в центре Арктики. На самом деле он указывает на определенное место в Северной Канаде, один из двух магнитных полюсов Земли. Другой магнитный полюс, находящийся в Антарктике, притягивает к себе южный конец магнитной стрелки компаса.

Возникает вопрос, почему стрелка компаса всегда выбирает именно эту точку в Северной Канаде и поворачивается к ней? Почему бы ей не указать на восток или на запад, на Северный полюс, на Чикаго или Буэнос-Айрес? Какая сила разворачивает ее в сторону Северной Канады?

Вы, наверное, знаете, что каждый магнит обладает двумя полюсами, в которых магнитные силы особенно велики. У большинства магнитов, выполненных в форме бруска или полоски, полюса расположены на концах, хотя можно изготовить магниты с полюсами и в других частях бруска.

Если мы поднесем два магнита близко друг к другу северными концами, то почувствуем силу, которая будет отталкивать их. То же самое наблюдается и в случае сближения южных концов. Таким образом, одноименные полюса магнита отталкиваются. С другой стороны, если приблизить северный конец одного магнита к южному

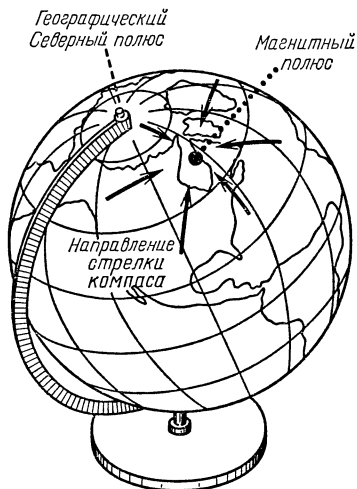


Рис. 19. Два полюса Земли

концу другого, то явственно ощутится их притяжение друг к другу. Северный конец одного магнита всегда притягивает южный конец другого. Итак, разноименные полюса притягиваются.

Земля — это тоже гигантский магнит. И у нее тоже есть свои собственные магнитные полюса — один в Северной Канаде, другой в Антарктике. Магнитные полюса Земли обладают огромной силой, действие которой ощущается в любой точке планеты.

Если магниту дать возможность свободно вращаться, например, поместив в плавающее блюдо или закрепив на острие, один из его полюсов повернется в определенном направлении — на Северную Канаду, а другой его полюс будет показывать в сторону Антарктики.

Тут вы, наверное, почувствовали, что с названиями у нас не все ладно. Разве направленный на север полюс магнита не является по существу его южным полюсом? И не является ли направленный на юг полюс магнита по

сути его северным полюсом, раз он притягивается Южным полюсом Земли? Ужасная путаница, не правда ли? Как же она образовалась?

Пять или шесть веков назад, когда люди впервые начали пользоваться компасом, они дали названия концам его стрелки. Названия эти казались им вполне естественными: конец, который показывал туда, где, по их мнению, был Северный (географический) полюс и называли северным, другой конец — южным. Но, как мы увидели, это оказался крайне неудачный выбор обозначений.

Однако наша первоначальная загадка так и не разгадана. Почему северный конец стрелки компаса (голубой) поворачивается к ванне, когда компас поднесен к ее верхнему краю? А когда он лежит на полу, к ванне обращен южный конец стрелки (белый)?

О чем говорит нам тот факт, что северный конец стрелки обращен к верхней части ванны? Верхняя часть ванны представляет собой южный ее полюс, притягивающий к себе противоположный — северный полюс стрелки. Дно ванны притягивает к себе южный полюс магнитной стрелки, а, значит, само является северным полюсом. Магнит в плавающем блюде и магнит, установленный на остром шпильке, не совсем свободны. Они могут лишь поворачиваться в определенной плоскости. Если расположить стрелку в направлении север — юг и дать ей возможность вращаться в вертикальной плоскости, как показано на рис. 20, то обнаружатся интересные вещи. Если

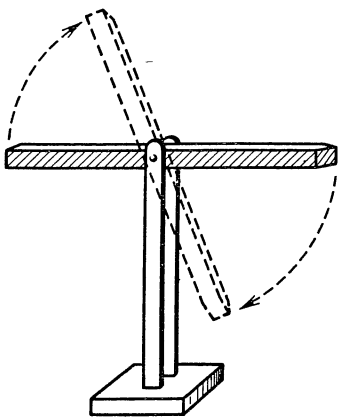


Рис. 20. Вертикальный компас отклоняется вниз

опыт проводится в умеренных широтах Северного полушария, стрелка повернется примерно на $60-70^\circ$. Она ведет себя, как будто ее притягивает магнитный полюс, расположенный не на поверхности, а глубоко под поверхностью Канады.

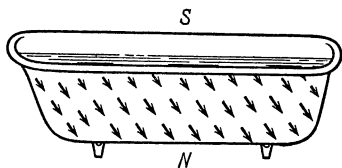


Рис. 21. У железной ванны два полюса

Железо, из которого в основном сделана ванна — магнитное вещество. Такое вещество разделено на крошечные области, которые представляют собой маленькие магнитики со своими северными и южными полюсами. И эти магнитные области могут поворачиваться. Поэтому магнитные силы Земли разворачивают их так, что их северные концы устанавливаются под углом $60\text{—}70^\circ$ к поверхности Земли. Северные концы множества магнитиков создают эффект большого северного полюса на дне. В то же время их южные концы выстраиваются наискось кверху, создавая южный полюс в верхней части ванны. Таким образом, загадка ванны-магнита разъясняется.

А железная батарея отопления тоже имеет в нижней части северный полюс, а в верхней — южный? Конечно! Каждый неподвижный железный предмет очень быстро намагничивается Землей таким образом, что дно его (в нашей местности) становится северным полюсом, а верхушка — южным. Даже у зонтика с железной ручкой, если оставить его на время в неизменном положении, появятся магнитные полюса. Легко убедиться в этом самим. Проверьте холодильник, стиральную машину, кухонную плиту, стальную дверцу. Что у вас получится?

Не так давно было сделано интересное открытие в геологии, имеющее отношение к нашему рассказу. Оказывается, у некоторых скал обнаружено слабое магнитное поле, которое образовалось миллионы лет назад, когда скалы были извергнуты из земли в виде раскаленной лавы, остывшей и затвердевшей впоследствии. Но среди этих скал есть такие, которые показывают своими северными полюсами на юг.

Исходя из наших сегодняшних наблюдений, этого не следовало бы ожидать. Какой же вывод можно сделать? Одно объяснение заключается в том, что магнитные полюса Земли менялись местами в далеком прошлом, быть может, даже не раз. Несомненно, тут появляются интересные вопросы о структуре Земли, на которые ученые до сих пор не могут ответить.

ЗАДАЧИ

1. Мальчик, живущий в городе Кито (Эквадор), расположенном на экваторе, читает эту книгу и хочет проверить, действительно ли его ванна намагничена так, что внизу у нее северный полюс, а сверху — южный. Что он обнаружит?

2. Девочка, живущая на самом юге Аргентины, в месте, расположенном на 55° южнее экватора, переписывается с мальчиком из Кито. Он рассказал ей о результатах своих исследований, и она решила проверить, как намагничена ее ванна. Что получится у нее?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Как превратить головку иглы в северный или южный полюс магнита?

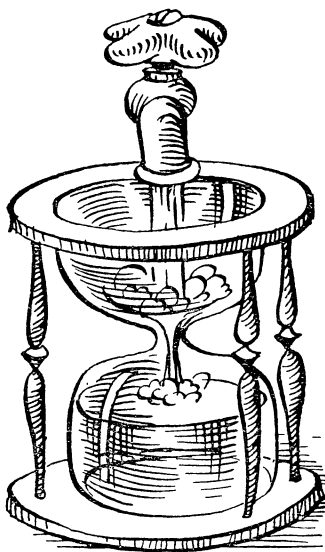
2. Сможете ли вы сделать магнит с тремя полюсами?

3. Придумайте, как изготовить магнит, используя электрический ток от батарейки.

Если вас спросят, сколько килограммов воды в полной ванне, вы вряд ли заинтересуетесь этим. Но, предположим, вам предлагается определить массу воды с помощью часов. Это другое дело!

Возьмем литровый сосуд. Если у вас такого сосуда нет, то можно влить 4 обычных стакана в большой сосуд и сделать на нем отметку. Это и будет один литр. Литр воды имеет массу один килограмм в любом уголке Земли.

Откроем кран в ванне так, чтобы вода лилась не очень сильно, и подставим наш литровый сосуд под струю.



С помощью секундомера или часов, имеющих секундную стрелку, определим, за сколько времени вода наполнит сосуд доверху. Предположим, это заняло 20 с, т. е. $1/3$ мин. Значит, скорость струи такова, что за одну минуту в ванну вливается 3 л, или 3 кг, воды.

Пусть вода течет с прежней скоростью. Откроем слив и выпустим воду из ванны. Закроем слив и заметим время, с которого струя воды начала заполнять совершенно пустую ванну. Затем отметим время, когда ванна наполнилась (до отверстия верхнего слива или до заранее предусмотренной вами черты). Пусть прошло 40 минут. Тогда, исходя из того, что за одну минуту в ванну попадает 3 кг воды, получаем, что масса всей воды в ванне составляет $3 \times 40 = 120$ кг. Вообще говоря, такое малое коли-

чество воды наполняет только очень маленькую ванну. Ванна обычных размеров требует для заполнения около 300 кг воды. Ждать 40 минут — это очень долго. Чтобы ускорить процесс, вы, возможно, захотите открыть кран полностью. Но тогда для измерений понадобится большой сосуд, например, трехлитровый бидон. Масса воды в таком бидоне составит 3 кг. Предположим, очень сильной струе понадобилось 12 с ($1/5$ мин), чтобы заполнить сосуд. Значит, за одну минуту в ванну попадает $(60/12) \times 3 = 15$ л, а масса прибавившейся за одну минуту воды — 15 кг. Если для заполнения ванны теперь потребовалось 18 минут, то общая масса воды, помещающейся в ванне, составит $15 \times 18 = 270$ кг.

Почему мы использовали метод определения массы воды с помощью часов? Давайте представим себе другой способ, хорошо всем известный — определение массы путем взвешивания. Вы могли бы заполнить ванну водой, отсоединить трубы, подведенные к ней, оттащить ванну от стены и подъемным краном водрузить ее на огромные весы, которые вы, не понятно как, внесли в ванную комнату. Вам надо будет взвесить ванну с водой, потом как-нибудь слить воду и узнать массу пустой ванны, произвести вычитание массы пустой ванны из массы ванны, наполненной водой, и получить, наконец, желанный результат.

Можно, конечно, взвесить воду по частям, используя только ведро и обычные весы. Сначала взвесим пустое ведро, наполним его и опять взвесим. Вычтем из полученного показания массу ведра и получим чистую массу воды в нем. Затем закроем слив и выльем ведро в ванну. Нам придется много раз повторить эту процедуру, если мы по-прежнему тверды в своем решении обойтись без часов. Общая масса воды, вмещаемая ванной, получится как сумма масс всех ведер.

Ну и что же проще — смотреть на часы или взвешивать одно за другим полные ведра? Если вы все еще не убеждены, можете испытать оба способа самостоятельно.

Теперь давайте займемся другим вопросом. Если бы человек имел форму кубического ящика, большой ли это был бы ящик? Поставим вопрос несколько иначе. Предположим, изготовлена полая модель человеческого тела, и вы засыпаете ее песком. Насколько велика будет кубическая коробка, содержащая такое же количество песка? Будет ли ее сторона равна метру или трети метра?

Интересно, что часы помогут вам ответить и на этот вопрос.

Как вы, наверное, уже знаете, объем коробки можно определить, измерив ее длину, высоту и ширину с помощью рулетки и перемножив эти три размера. Например, если длина коробки 10 см, ширина и высота тоже 10 см, то объем ее составит $10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ см}^3$.

Да, но как измерить рулеткой толщину и ширину человеческого тела? Какую брать ширину — наибольшую или наименьшую? Метод измерения рулеткой тут явно не подходит. Сможем ли мы определить объем тела, заполняя его водой из мерной посуды? Вряд ли. Еще несуразней пытаться всунуть свое тело в ящик, едва ли этот способ стоит рекомендовать.

Тем не менее, есть очень простой способ. Он заключается в следующем — надо узнать объем воды, равный объему тела, а затем измерить объем воды обычным способом. Метод этот известен под названием «метода вытеснения», потому что мы вытесняем воду, погружаясь в нее, а объем вытесненной жидкости измеряем. Способ

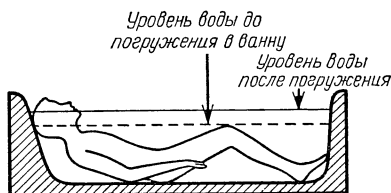


Рис. 22. Так можно измерить собственный объем

основан на том простом факте, что два различных тела не могут одновременно занимать одно и то же пространство. Когда вы входите в ванну с водой и погружаетесь в нее, ваше тело вытесняет воду из объема, который она занимала. Куда деваться воде? Ей остается только подняться наверх. Поэтому уровень воды повышается, когда ваше тело погружается в ванну. Итак, все что нам требуется для измерения объема своего тела — отметить уровень воды в ванне до и после погружения в нее, а затем измерить объем вытесненной жидкости, например, с помощью часов.

Вот что мы сделаем. Нальем в ванну достаточно воды, чтобы вы могли уместиться в ней почти целиком. И прежде, чем залезть в ванну, сделаем временную отметку уровня воды на ее стенке. Цветной мелок хорошо

подойдет для этой цели, так как он потом легко сотрется. Подойдет также кусочек изоляционной или клейкой ленты, который можно отклеить от стенки после окончания опыта.

Залезьте в ванну и лягте так глубоко, как только можете, чтобы только нос и глаза были над водой. Постарайтесь сделать отметку нового уровня выбранным вами способом.

Теперь, когда отмечены нижний и верхний уровни воды, проблема состоит в том, чтобы узнать, какой объем они заключают. Первым делом вылезем из ванны. И, конечно, насухо вытремся. Отметим, что уровень воды вернулся к первоначальной, сделанной до нашего купания черте. Таким образом, задача определения объема тела сводится к задаче нахождения объема воды, заключенного между верхней и нижней отметками на стенке ванны.

Найдем этот объем с помощью часов, методом, описанным ранее в этом разделе. Заметим время и пустим воду. Подставим под струю литровый сосуд. Узнаем, сколько времени понадобится, чтобы его наполнить. Затем определим, за сколько времени вода в ванне поднимется до верхней отметки.

Один юный исследователь определил, что его объем составляет около 40 литров. А какие результаты у вас?

Есть ли у вас дома картонная коробка, в которую обычно упаковываются телевизоры? Может быть, осталась от недавней покупки? Поглядите на нее, совпадает ли ваш объем с этой коробкой? Может больше, а может, меньше? Как же узнать? Это совсем нетрудно, если учесть важные сведения: один литр имеет точно такой же объем, как и тысяча кубических сантиметров.

Предположим, что вы измерили свой объем и получили, что он равен 40 литрам, или 40000 см^3 . Каких размеров коробка имеет такой объем? Для упрощения задачи примем, что коробка имеет форму куба, т. е. все ее ребра равны. В этом случае мы должны найти число, которое, дважды умноженное само на себя, даст значение 40000. Число 34 вполне нам подойдет.

Таким образом, коробка с ребром 34 см (ее длина, высота и ширина составляют 34 см) будет иметь такой же объем, как и наш юный исследователь с объемом тела 40 л. Итак, она оказалась не такой уж большой. Не правда ли?

ЗАДАЧИ

1. Вода вливается со скоростью 4 л в секунду в плавательный бассейн длиной 20 м, шириной 10 м и глубиной 2 м. Сколько времени понадобится, чтобы заполнить бассейн?

2. Вода начинает литься в ванну, объемом 250 литров, со скоростью 15 литров в минуту. Через 5 минут жилец нижней квартиры открыл душ, и в результате скорость струи уменьшилась до 8 литров в минуту. Сколько времени пройдет, прежде чем ванна наполнится?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Считается, что молочная бутылка вмещает 2 обычных стакана, а трехлитровый бидон — 6 бутылок. Значит, бидон должен вмещать 12 стаканов. Проверьте, так ли это.

2. В самом ли деле один литр воды имеет массу один килограмм? Попробуйте, как можно точнее, взвесить литр воды на весах.

3. Действительно ли один литр и тысяча кубических сантиметров имеют одинаковый объем. Докажите это собственными измерениями.

Давным-давно, а если быть точным — около 2 200 лет назад жил в Греции ученый, математик, философ и любитель разгадывать загадки по имени Архимед. Находился он при дворе царя Гиерона II. У царя была корона, которую он, когда требовалось для внушительности, возлагал на свою голову, появляясь перед подданными.

Однако, так уж устроены цари, ему не давала покоя мысль, что корона сделана не из чистого золота, а, значит, он, всемогущий повелитель, обманут золотых дел мастером и носит на голове подделку. Можно предполагать, что такой беспокойный царь, как Гиерон, сообразил взвесить золото перед тем, как отдавать его мастеру. Тогда нужно было лишь проверить массу готовой короны, чтобы узнать, не украл ли ювелир часть золота. Наверно, Гиерон так и сделал и обнаружил, что ее масса точно совпадает с первоначальной массой золота.

Но Гиерон был догадливый, хотя и очень подозрительный человек. Мы даже можем представить себе, как он рассуждал, следуя за возможными мыслями золотых дел мастера: «Я могу надуть царя, присвоив небольшой кусочек золота, заменив его равной массой серебра, менее дорогого металла, и сплавив его с золотом. Сделаю все так, чтобы масса короны была бы равна доверенной мне массе золота. А если золота украсть немного, то и вид короны не будет отличаться от золотой».

Такая возможность тревожила царя, поэтому он вызвал своего придворного ученого Архимеда и поручил ему провести следствие и выяснить, не было ли совершено описанным способом кражи.

Однажды Архимед размышлял над царским заданием, сидя в ванне. И вдруг, как утверждает легенда, решение задачи неожиданно пришло ему в голову. Говорят, он был так взволнован, что выскочил из ванны и пустился совершенно голым бежать по улицам своего родного города

Сиракузы, крича «Эврика! Эврика!», что означает «Нашел! Нашел!»

А нашел ученый не только способ выполнить задание царя, но и соотношение между силой, выталкивающей погруженный в жидкость предмет, и объемом вытесненной им жидкости.

Возьмите резиновый или пластмассовый шарик или другой легкий предмет и поместите его под воду в ванне. Замечаете, что вода как бы выталкивает его вверх? Говорят, что на шарик действует выталкивающая сила. Отпустите шарик. Он выскакивает из воды. Как вы видите, выталкивающая сила столь велика, что шарик поднимается вверх довольно быстро.

Повторите этот же опыт, но уже в небольшом сосуде, размеры которого чуть больше, чем размеры шарика. Уровень воды в таком сосуде резко повышается, когда шарик погружают в воду. Как говорят, он вытесняет воду.

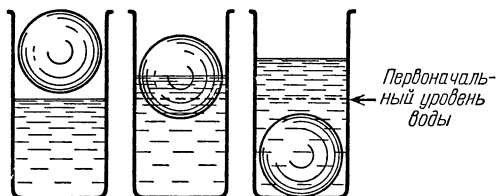


Рис. 23. Предмет выталкивает воду

При полном погружении объем предмета равен объему вытесненной им жидкости. Мы уже пользовались этим в предыдущем разделе, определяя объем своего тела.

Повторим опыт с шаром большого объема. Теперь приходится прикладывать к нему гораздо большую силу, чтобы удерживать под водой. Выталкивающая сила воды стала больше, потому что увеличился объем вытесненной воды.

Архимед открыл и сформулировал в своем законе, что выталкивающая сила равна по величине силе тяжести, действующей на воду, вытесненную предметом. Например, если мячик вытесняет один килограмм воды, на него действует выталкивающая сила в один килограмм. Если он вытеснит два килограмма, то и выталкивающая сила будет равна двум килограммам *).

*) 1 килограмм-силы (1 кгс) равен силе притяжения к Земле тела массой 1 кг (1 кгс=9,8 Н).



Почему плавает резиновый мяч, брошенный в воду? Ведь на него действует сила земного притяжения, направленная вниз. Но по мере погружения в воду он вытесняет все больший и больший объем воды. В соответствии с законом Архимеда при этом возрастает и выталкивающая сила. Поэтому, в конце концов, когда действующая вверх выталкивающая сила сравняется с противоположно направленной силой тяготения, наступит равновесие сил, и мяч останется плавать.

Если предмет очень тяжел, то даже тогда, когда он полностью погружен в воду, действующая на него сила тяжести больше выталкивающей силы. Это происходит, например, когда он изготовлен из железа. Выталкивающая сила в этом случае слишком мала, чтобы наступило равновесие и предмет плавал. Под действием не полностью уравновешенной силы тяжести он падает вниз, на дно.

История с украденным золотом

Вернемся к трудностям царя Гиерона, которые стали задачей Архимеда. Как же различить чистое золото и золотой сплав, которые выглядят совершенно одинаково?

Оказывается, золото является веществом с очень большой плотностью. Если взвесить одинаковые объемы золота и воды, то окажется, что золото в 19,3 раза тяжелее воды. Серебро тоже очень плотный металл, но все же не такой, как золото. Объем серебра в 10,5 раза тяжелее такого же объема воды. Можно посмотреть на это же иначе.

Предположим, мы взяли равные массы золота и воды. Что будет иметь больший объем? Так как золото в 19,3 раза тяжелее воды, нам необходимо будет взять его объем в 19,3 раза меньший, чтобы получить одинаковую с водой массу. Вы видите, что если предметы имеют равную массу, более плотный из них имеет меньший объем.

Пусть из царской короны был похищен кусок золота и заменен равной массой серебра. Корона при этом весит столько же, сколько первоначальное золото, и, взвесив ее, мы не сможем обнаружить кражи. Но если в короне содержится хоть немного серебра, ее плотность будет немного меньше, чем у исходного слитка из чистого золота, и она будет занимать больший объем.

История умалчивает, как именно проводил исследования Архимед, но он вполне мог поступить так: отделить кусок золота от слитка, из которого брали золото для короны, причем подобрать кусок, по массе равный короне. А затем рассудить, что, если корона состоит из чистого золота, она должна вытеснить точно такой же объем воды, что и подобранный золотой кусок. Если же объем вытесненной короной воды немного больше, чем у куска золота, можно быть уверенным, что в корону подмешано серебро, менее плотный металл.

Неважно, какой именно метод ученый применил, только он обнаружил, что корона действительно имеет меньшую плотность, чем у чистого золота. И стало ясно, что золото присвоено золотых дел мастером. Мы можем только посочувствовать бедному мастеру, которого, конечно, ждал печальный конец в результате гениально проведенного Архимедом следствия. И мы не можем не восхищаться Архимедом, который вдобавок к прочим своим заслугам может претендовать на почетное звание первого в истории ученого-детектива.

Загадка водяной капли

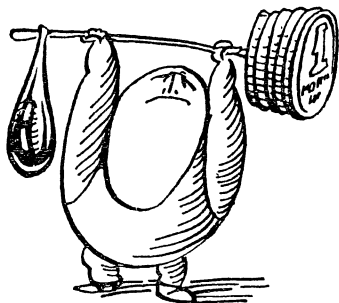
Без сомнения, вам, воодушевленным примером Архимеда, захочется совершить что-либо подобное. Если так, то специально для тренировки мы приготовили вам маленькую научную загадку.

У нас есть: ванна, наполненная водой, удлиненный пузырек такого диаметра, чтобы его можно было наполнять пятикопеечными монетками (масса каждой монетки — 5 г), пипетка, цветной мелок или мягкий карандаш.

Наша задача: пользуясь только этими предметами, найти массу капли воды.

Сначала подумайте, как бы вы решили задачу самостоятельно. Затем сравните свои рассуждения с приведенными ниже.

Опустим пузырек в воду и будем наполнять его монетками до тех пор, пока он не начнет плавать в вертикальном положении. Затем добавим еще одну монету. В случае



необходимости встряхнем пузырек с монетами так, чтобы он продолжал плавать вертикально. Проведем на пузырьке цветным мелком черту на уровне воды. Вытащим из него одну монетку — пузырек станет плавать менее погруженным. Теперь пипеткой начнем добавлять воду в пузырек до тех пор, пока черта не опустится до уровня воды. Запомним понадобившееся количество капель. В соответствии с законом Архимеда, выталкивающая сила зависит только от массы вытесненной жидкости. Если пузырек плавает на прежнем уровне, значит, и выталкивающая сила равна прежней (до того, как мы вытащили монетку). Значит, и сила тяжести, действующая на пузырек с монетами и каплями, осталась такой же. Другими словами, мы заменили массу убранный монетки равной массой водяных капель. Масса монетки равна 5 г. Предположим, нам потребовалось 50 капель, чтобы вернуть пузырек на прежний уровень. И мы знаем, что эти 50 капель весят столько же, сколько одна пятиграммовая монетка. Значит, масса одной капли составит $5/50$ или $1/10$ грамма. Не правда ли очень просто?

ЗАДАЧИ

1. Почему спасательный круг помогает человеку удерживаться на воде?

2. В сосуд с водой аккуратно влили немного керосина, который расположился на ее поверхности. Потом туда бросили кусочек воска. Оказалось, что воск плавает на границе между керосином и водой. Как это можно объяснить?

3. Однажды царь спросил у Архимеда, сколько нужно взять золота, чтобы его масса была равна массе слона? Архимед довольно легко справился с этой задачей. Догадайтесь, какими образом?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Попробуйте проверить закон Архимеда для плавающих предметов. Понадобится ли для такой проверки один предмет, или необходимо использовать несколько?

Когда вы в следующий раз будете принимать ванну, подождите открывать кран с водой. Попробуем просто посидеть в пустой ванне. Бр-р... Можно вообразить, как будет холодно. Но разве сама ванна холодная? Подумайте минуту. Если бы ванна действительно была холоднее воздуха и окружающих ее предметов, она бы стала нагреваться от них, пока их температуры не сравнялись бы. Ванна такая же теплая, как и все вокруг. Проверьте это термометром. Подержите термометр в ванне 5 минут — время, необходимое для того, чтобы его температура сравнялась с температурой воздуха в помещении. Что он показывает? Теперь положите термометр на дно пустой ванны так, чтобы его конец касался ее. Опять подождем 5 минут и снимем показание. Оно не изменилось. Но если пустая ванна не холоднее всего остального вокруг, почему же в ней так холодно?

Наше тело — не лучший прибор для определения температуры. Оно ощущает только потери или приобретение тепла. Когда тепло быстро теряется и кожа из-за этого быстро охлаждается, нам становится холодно. Если тело нагревается, то нам жарко.

Человек — теплокровное существо, а это значит, что его тело в нормальном состоянии имеет постоянную температуру — 36,6° по Цельсию. Нормальная для нас комнатная температура составляет 18—22 °С. Поскольку тело на 15—18 градусов теплее всего окружающего, оно непрерывно отдает ему свое тепло.

Но почему тогда в комнате с температурой 20 °С, мы чувствуем себя лучше, чем при 30 °С? Чтобы существовать, организму необходимо «сжигать» принимаемую пищу, а при этом всегда выделяется тепло. Если это тепло будет накапливаться в организме, температура его начнет повышаться. При температуре тела 40 °С человек чувствует себя совершенно больным. А если она достигает 43 °С даже на короткое время, чаще всего насту-



пает смерть. Поэтому человеку, чтобы выжить, необходимо непрерывно отдавать тепло окружающей среде. Температура среды 20°C является для нас оптимальной, потому что при этой температуре скорость отдачи тепла наружу примерно совпадает со скоростью выделения тепла внутри тела от «сжигания» пищи.

Что произойдет, если мы войдем в жаркую парную с температурой воздуха около 75°C ? Как вообще можно существовать при такой температуре? Оказывается, в этом случае открываются поры потовых желез, и на коже выступает большое количество пота. Пот начинает быстро испаряться в воздух. Испарение охлаждает тело, по крайней мере настолько, чтобы выдержать при такой температуре 15—30 мин. Без этого охлаждающего эффекта испарения человек не мог бы перенести столь высокую температуру.

Вы можете легко наблюдать охлаждающее действие испарения. Надо только смочить ладони водой и дать ей испариться. Чувствуете холодок?

Попробуйте также обернуть кончик термометра клочком ваты и намочите вату водой комнатной температуры. Наблюдайте за показанием термометра по мере того, как вода с ваты будет испаряться. Температура может упасть на 5—10 градусов или даже больше. После того как

вся вода испарится, температура вернется к первоначальному значению, потому что охлаждающего эффекта больше не будет.

Возможен и другой опыт, довольно простой, который можно провести прямо в ванне. Предположим, мы просто принимаем ванну. Наполняем ванну теплой водой, садимся в нее, можем поплескаться и даже вымыться как следует. Теперь пора вылезать. Встаем, дотягиваемся до полотенца и быстро вытираемся. Но подождите! Давайте сегодня возьмем полотенце не сразу, а постоим мокрыми минуту или две и посмотрим (почувствуем), что произойдет. Нам не придется ждать слишком долго — очень быстро замерзнем. Почему? Испарение воды с мокрого тела быстро охлаждает его.

Мы уже знаем, как человек регулирует температуру своего тела, когда очень тепло. Но что происходит, когда температура падает и становится очень холодно? При такой низкой температуре интенсивность отдачи тепла телом в окружающую среду намного больше, чем при комнатной. Тело очень быстро охлаждается, и его температура может упасть ниже $36\text{—}37^\circ\text{C}$, которые являются нормальными для человеческого организма. Такая ситуация очень опасна. Температура организма не может значительно понижаться без серьезного нарушения его деятельности. Чтобы избежать этой опасности, есть два пути. Либо организм начнет производить больше тепла, «сжигая» больше пищи, либо он найдет способ, как уменьшить его потерю.

У теплокровных животных есть несколько приемов, с помощью которых потери тепла в холодную погоду сокращаются.

Одни из них с наступлением зимы обрастают густой шерстью. Некоторые птицы умеют так распушить перья, что они на время образуют густую «шубу», затрудняющую движение воздуха вокруг тела; это мешает теплу уходить в окружающую среду. Другие животные решают проблему так: сворачиваются в клубок, как можно более плотный, и впадают в спячку на всю зиму. Форма клубка является самой компактной, и поверхность, соприкасающаяся с холодным воздухом, при такой форме будет наименьшей. Потери тепла при этом минимальны. При спячке происходит резкое падение температуры тела, такое значительное, что она приближается к температуре окружающей среды. Это сильно уменьшает отдачу тепла. Кроме того, организм животного прекращает всякую активность

и движение, которые требуют расходов энергии. В результате ограниченных запасов, которые заготовлены в организме, хватает, чтобы вырабатывать тепло в течение всех долгих холодных зимних месяцев.

У людей — свои способы уберечь тело от потерь тепла в холодную погоду. Они строят здания и отапливают их, создавая внутри нормальную для жизнедеятельности температуру — 20°C . Выходя наружу, они одеваются, и одежда уменьшает скорость отдачи тепла телом.

Какие материалы надо использовать для одежды? Стоит ли изготавливать ее из стальной проволоки? Такая одежда имела бы определенные преимущества — прочность, например. Но зато сколько недостатков! В ней будешь себя чувствовать примерно так же, как сидя в пустой ванне. Стальная одежда была бы холодной при 20°C , очень холодной при 15°C и невыносимо холодной при 10°C .

Вот мы и пришли к нашей первоначальной задаче. Почему же, когда сидишь без одежды в пустой ванне, чувствуешь себя совсем иначе, чем если сидеть на кровати? Ведь и ванна и кровать находятся при одинаковой комнатной температуре — 20°C . Но в ванне будет холодно, а на кровати — вовсе нет. Очевидно, что тут должно быть различие между тем, как отбирает тепло ванна, а как покрывало на кровати.

Вспомним сказанное в разделе 5 о том, что ванна сделана из железа, покрытого тонким слоем эмали. Железо же, как и большинство металлов, хороший проводник тепла. А вот вата и шерсть — плохие проводники тепла (теплоизоляторы). В ванне нам холодно, потому что железо быстро отводит тепло от тела. На кровати (на простыне или шерстяном покрывале) мы не ощущаем холода, потому что эти предметы слабо проводят тепло.

Проведите опыт. На одну конфорку газовой плиты поставьте металлическую кастрюлю, а на другую — такую же из жаростойкого стекла. Налейте в обе кастрюли немного воды и постарайтесь одновременно зажечь одинаковый огонь под ними. В каком случае вода закипит быстрее? Вы обнаружите, что в металлической кастрюле она закипит быстрее, потому что тепло проводится через металл лучше, чем через стекло. Стекло гораздо худший проводник тепла, и содержимое стеклянной кастрюли нагревается гораздо медленнее.

Воздух тоже очень плохой проводник тепла, если только он не движется. Движение воздуха помогает ему пере-

носить тепло с одного места на другое, в чем легко убедиться, подержав ладонь над свечой. Значит, пористые материалы, в которых удерживается воздух, должны останавливать поток тепла и являться хорошими изоляторами. Так, переносной холодильник для прогулки можно сделать из пенопласта — пенистой пластмассы с большим количеством заполненных воздухом пор. Если поставить в такой холодильник бутылку холодного лимонада, она будет долго оставаться охлажденной, так как тепло из окружающего воздуха будет проникать через пенопласт очень медленно. Минеральная шерсть, стекловата и асбестовые материалы, пронизанные порами с воздухом, широко используются для утепления зданий. Они не пропускают тепло внутрь дома летом и наружу из комнат зимой.

С другой стороны, металлы используются для изготовления таких предметов, как посуда, батареи отопления, когда требуется, чтобы материал хорошо проводил тепло.

Потрогайте рукой различные предметы в ванной комнате, чтобы определить, насколько хорошо они проводят тепло. Коснитесь двери, полки, металлической батареи, дверной ручки. Проведите рукой по кафельной стене, полу, зеркалу, штукатурке на стене. Подержите сухое полотенце, кусок бумаги. Холодные или теплые эти предметы на ощупь? Какие холоднее? Эти предметы — хорошие проводники тепла; рука, прикасаясь к ним, легко отдает свое тепло. А те предметы, которые не показались вам холодными, сделаны из материалов, затрудняющих отвод тепла от нашего тела.

О природе теплоты

Наверняка, то, что вы узнали о свойствах теплоты, вызвало много вопросов. Например, как теплу удается проходить через твердый металл? Или почему испарение приводит к охлаждению?

В течение многих лет ученые напряженно работали, чтобы создать теорию, способную дать ответы на все эти вопросы. Теория основана на представлении о молекулах — очень маленьких частицах, из которых состоят все вещества. Молекулы находятся в непрерывном движении и все время взаимодействуют друг с другом. В жидкостях и газах они способны передвигаться на большие расстояния, причем в газах движение происходит более свободно, чем в жидкостях. В твердом теле молекулы только совершают колебания вблизи определенных мест. Чем

быстрее движутся молекулы, тем выше температура тела. При передаче тепла через твердый материал распространяется не вещество, вроде воды или воздуха, а изменяется интенсивность колебаний молекул.

Посмотрим, что происходит, когда пища в кастрюле, поставленной на плиту, разогревается. Движение молекул горящего газа намного быстрее, чем у предметов с нормальной температурой. Эти быстрые молекулы сталкиваются с молекулами металла у дна кастрюли, и те начинают двигаться гораздо быстрее. Затем, в свою очередь, начинают двигаться быстрее молекулы, расположенные в верхних слоях металла. И так от молекулы к молекуле быстрое колебательное движение распространяется через металл и достигает содержимого кастрюли.

А почему происходит охлаждение, когда вода или любая другая жидкость испаряется? Жидкости отличаются от твердых тел тем, что молекулы в них могут вырываться из своего окружения и двигаться более или менее сами по себе. Межмолекулярных сил уже не хватает, чтобы удерживать молекулу в одном определенном положении, как это имеет место в твердых телах. Но силы притяжения в жидкости еще достаточно велики, чтобы удерживать молекулы все вместе, в объеме жидкости, налитой в сосуд. Во время своих «путешествий» по жидкости молекулы соударяются друг с другом, а так как их скорости очень велики, можно даже сказать, что они бомбардируют друг друга. И может случиться, что молекула, находящаяся недалеко от поверхности, получит при соударении настолько большую скорость, что сможет вылететь из жидкости в воздух.

Сумеет ли она преодолеть силу притяжения своих соседей снизу? Это зависит от того, насколько велика ее скорость. Некоторые молекулы летят так быстро, что полностью преодолевают притяжение и становятся частицами газа или пара. Они, таким образом, испаряются. Обратим внимание, что в процессе испарения жидкости ее покидают самые быстрые молекулы. Какие же молекулы остаются? Более медленные, конечно. Но более медленные молекулы соответствуют более низкой температуре тела. В результате при испарении вода охлаждается. Если испарение происходит с поверхности кожи, вы почувствуете сильное охлаждение.

Молекулярная теория теплоты, с основами которой мы познакомились, насчитывает почти два сто-

летия. С момента ее появления тысячи ученых проверили ее сотнями разных способов. Теперь уже нет ни малейшего сомнения в том, что она правильна.

ЗАДАЧИ

1. Что охлаждается быстрее — ванна, наполненная горячей водой, или стакан с горячим чаем? Объясните свой ответ.

2. Придумайте три способа, с помощью которых можно ускорить испарение жидкости.

3. Может ли нам казаться теплее в сырую погоду, чем в сухую (при той же температуре воздуха)?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Разберитесь в принципе работы холодильника, охлаждающее действие которого основано на испарении.

2. Придумайте и сконструируйте коробочку, в которой кубик льда не растаял бы полностью и за 10 часов.

Приходилось ли вам когда-нибудь принимать ванну с пеной? Нет? Так надо попробовать. Продаются пенные растворы, шампуни и порошки для образования пены в ванне. Если у вас дома уже есть такое средство, то, следуя прилагаемой к нему инструкции, устройте в ванне целые горы пены. А если специального пенного раствора нет, его можно сделать самому, добавив в воду



чайную ложку стирального порошка. Здорово получилось, правда? Но нельзя же все время только играть с пузырьками в ванне. Наступит момент, когда захочется взглянуть на них с научных позиций.

Посмотрите на образующиеся пузырьки. Большие они или маленькие? Круглые или в форме коробочки, легкие или тяжелые? Долго ли они живут или быстро исчезают?

Что такое вообще пузыри? Как они образуются?

Начнем исследование с того, что пустим маленькую канцелярскую скрепку «плавать» по спокойной воде в

ванне. Да, да, мы не оговорились — пустим скрепку «плавать». Но ведь скрепка сделана из металла, как же она может плавать?

Давайте разогнем одну из скрепок так, чтобы получился крючок, как это показано на рис. 24. Положим на него другую маленькую скрепку. Погрузим нашу конструкцию в воду так, чтобы скрепка лежала на спокойной

поверхности воды в ванне. Если проделать все очень аккуратно, то скрепка должна остаться на поверхности воды, даже когда крючок, держащий ее, опустится вниз, под воду. А теперь попробуем опустить скрепку наклонно. Металлическая скрепка быстро пойдет на дно, как вы и ожидали сначала. Значит, в первом случае что-то поддерживало ее, но что?

Из раздела 8 мы уже узнали, что все вещества состоят из мельчайших частиц, называемых молекулами. Молекулы, расположенные не слишком близко друг к другу, притягиваются. В твердых телах межмолекулярные силы притяжения настолько велики, что надо приложить очень большое усилие для расщепления молекул и разделения твердого предмета на части.

В жидкостях притяжение не такое сильное, но оно существует и вполне ощутимо. Если хотите убедиться в этом, опустите в воду карандаш, а потом выньте его. На кончике карандаша, как бы прилипнув к нему, вопреки закону тяготения, висит капля. Кажется, она притягивается к карандашу какой-то неведомой силой.

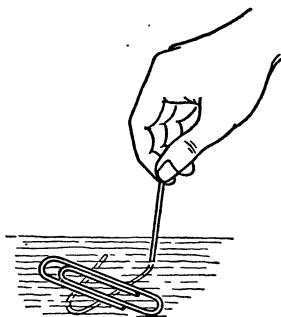


Рис. 24. «Плавание» скрепки в воде

Поместим карандаш над листком вощеной бумаги и встряхнем его, чтобы сбросить каплю. Обратите внимание, что вода растеклась по бумаге совершенно правильным кругом. В центре этого круга она чуть приподнята над бумагой, образуя маленький холмик. Несомненно, существует какое-то притяжение между молекулами воды, которое заставляет их собираться в единое целое. Силами притяжения между молекулами воды и объясняется круглая форма капли. Они стягивают молекулы, находящиеся на внешней поверхности, как можно ближе к центру капли. В результате поверхность служит как бы пленкой, стягивающей всю массу жидкости. Говорят, что жидкость обладает поверхностным натяжением.

Теперь вам, наверное, понятно, почему, говоря скрепка «плавает», мы заключили слово «плавает» в кавычки. Скрепка держится на воде не за счет выталкивающей силы, как держится, например, спасательный круг. Она не тонет потому, что слишком легка для того, чтобы прорвать

«пленку», удерживается силами поверхностного натяжения.

Приглядитесь внимательно, что происходит с водой вокруг лежащей на ней скрепки. Вы увидите — вода слегка прогнулась под скрепкой. Кажется, будто вся поверхность воды покрыта тонкой гибкой оболочкой, удерживающей скрепку. Конечно, на самом деле никакого покрытия на воде нет, а существует поверхностное натяжение, которое и не дает легкой маленькой скрепке утонуть. Так же, как и скрепка, могут держаться на поверхности воды другие легкие предметы, сделанные из материалов, которые обычно тонут. Попробуйте провести опыт с кусочком алюминиевой фольги, с маленьким ситом, часто усеянным отверстиями, или тонкой металлической теркой. Эти предметы должны остаться на поверхности воды, если их очень аккуратно положить на нее.

Некоторые насекомые используют поверхностное натяжение, чтобы легко скользить по воде в прудах и ручьях. Сила тяжести, действующая на этих мелких насекомых так мала, что они могут спокойно «гулять» по водоемам.

Пузыри тоже образуются за счет поверхностного натяжения. Чтобы понять, как это происходит, попробуем образовать пузыри, пустив сильную струю в уже частично наполненную ванну. В месте, куда попадает струя, вода вспенивается, и образуются пузырьки. Но живут они очень недолго и быстро лопаются. После того, как вы закроете кран, пузырьки, скорее всего, исчезнут за несколько секунд. Струя воды по пути в ванну захватывает воздух и увлекает его за собой. Пузырьки воздуха оказываются под водой, и падающая струя раскидывает их в стороны. Затем они всплывают на поверхность недалеко от места падения струи. Пытаясь вырваться наверх, такие пузырьки как бы натягивают поверхностную пленку, но не могут прорвать ее из-за значительных сил поверхностного натяжения. Вот и образуются в ванне маленькие воздушные шарики, обтянутые тонкой пленкой молекул воды.

Если присмотреться к падению струи в чистую воду, можно обнаружить, что пузырьки лопаются очень быстро — через секунду-другую, и на смену им сразу приходят другие. Но если в воду добавлено немного мыла или стирального порошка, пузыри будут намного долговечнее. Почему же такая разница?

Попробуем сделать так: опять опустим канцелярскую скрепку плавать на воде, только в большой чашке. Теперь

добавим в воду на некотором расстоянии от скрепки немного стирального порошка (или шампуня). Через небольшой промежуток времени скрепка вдруг пойдет на дно. Что же случилось? Стиральный порошок постепенно растворился в воде и настолько ослабил силы поверхностного натяжения, что они больше уже не могли удерживать скрепку.

Есть другой способ убедиться в том, что стиральный порошок и мыло ослабляют поверхностное натяжение. Бросьте в чашку между двумя плавающими в ней (в сантиметре друг от друга) спичками немного стирального порошка или мыльной стружки. Спички резко отпрянут друг от друга, как будто что-то растолкнуло их. Стиральный порошок ослабил поверхностное натяжение воды между спичками. Оставшееся прежним натяжение за каждой из спичек превысило значение поверхностного натяжения между ними, что и заставило воду растащить спички в стороны.

Насекомые, которые известны под научным названием *stenus*, не только удерживаются на воде с помощью поверхностного натяжения, но и используют силы поверхностного натяжения для того, чтобы двигаться. Брюшко этого насекомого касается воды, а в конце брюшка расположено отверстие. Жидкость, выделяющаяся из отверстия, ослабляет поверхностное натяжение воды за насекомым и более сильное натяжение спереди тянет его вперед. Чтобы остановиться, жучку необходимо либо оторвать брюшко от воды, либо перестать вырабатывать специальную жидкость.

Таким образом, мы установили, что чистая вода обладает большим поверхностным натяжением, чем та, в которой содержится стиральный порошок или мыло. А теперь представим себе объем воздуха, «обтянутый» со всех сторон очень тонким слоем воды, другими словами, — пузырь. Пусть сначала поверхностное натяжение велико, как в случае чистой воды. Наружный слой воды сильно давит на воздух и сжимает его. Сжатый воздух пытается прорваться через пленку и, в конце концов, прорывает ее в каком-либо слабом месте — пузырь лопается. Когда же поверхностное натяжение слабее, воздуху легче растянуть водную пленку. Давление внутри пузыря становится меньшим и пузырь сохраняется дольше.

В растворах моющих и дезинфицирующих веществ маленькие пузыри или пена сохраняется долго. Когда использованный раствор стекает в канализационный ко-

лодец или сточную трубу, пена, образовавшаяся в нем, держится очень долгое время. Она может забить отстойники и системы очистки сточных вод. Кроме того, пена отрицательно сказывается на жизнедеятельности бактерий, очищающих воду. В реках, где хозяйки полощут белье, часто появляются большие грязные хлопья пены.

В последнее время эта проблема стала настолько серьезной, что многие предприятия, выпускающие моющие средства, вынуждены были понизить их пенистость. К слову сказать, она совершенно не сказывается на очищающих свойствах этих средств. Единственной причиной, по которой стиральные порошки, всевозможные шампуни и очистители делали такими пенистыми, заключалась в том, что люди, благодаря рекламе, привыкли связывать способность пениться и способность очищать. На самом же деле моющие свойства мыла и стирального порошка обусловлены тем, что они облегчают воде смачивание частичек пищи и других жирных веществ, которые вода обычно не смачивает.

У молекулы моющего средства как бы два конца. Одним она связана с молекулой воды, другим пытается соединиться с молекулой жира или масла. Такая молекула по существу является мостиком, с помощью которого вода и жир могут соединиться друг с другом. Таким образом, вода, в которой растворен стиральный порошок или мыло, обладает способностью смывать грязь с кастрюль, тарелок, рук, одежды.

Межмолекулярные силы, создающие поверхностное натяжение, играют важную роль и во многих других явлениях. Например, утка, плавающая в воде, остается сухой, так как ее перья покрыты слоем жира. Вода не смачивает жирную поверхность, потому что силы притяжения между молекулами жира и воды меньше, чем сила притяжения между молекулами самой воды. Но если какая-нибудь бедняга-утка сядет на воду, в которой растворено достаточно много мыла и другого моющего средства, притяжение между молекулами жира на ее оперении и молекулами мыла приведет к образованию «мостика» между жиром и водой, и утка насквозь промокнет. А так как мокрые перья тяжелее сухих, утка может даже утонуть. Такая же печальная история ожидает водяного жука, скользящего по поверхности воды. Он тоже утонет в воде с достаточно большой концентрацией стирального порошка.

Вот куда привели нас пузыри — к промокшим уткам и жукам. Мы очень часто заканчиваем рассказ совсем не там, где начали. Это одна из причин, по которой заниматься наукой так интересно.

ЗАДАЧИ

1. Вы надули через соломинку мыльный пузырь, а затем осторожно вытащили изо рта соломинку с пузырем на конце. Что произойдет с пузырем дальше?

2. Предположим, мы наполнили узкую пробирку водой до самого края. Что произойдет с водой, если вы осторожно опустите в пробирку маленькую канцелярскую скрепку?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Можно непосредственно измерить поверхностное натяжение воды, если определить, какая сила требуется для того, чтобы оторвать от поверхности квадратик или кружок, сделанные из легкого, непромокаемого материала. Силу эту вы могли бы измерить с помощью точных весов. Весы делают таким образом. Возьмите кусок толстой проволоки длиной около полуметра. Слегка изогните проволоку посередине и подвесьте ее так, чтобы она могла свободно качаться на нейлоновой нити (леске). Канцелярские скрепки или другие легкие предметы можно использовать в качестве гирек-разновесов. Их можно подвешивать к одному из концов проволоки и увеличивать количество до тех пор, пока они не поднимут с поверхности воды квадратик или кружок, прикрепленный к другому концу проволоки. Используйте ваши весы для того, чтобы сравнить поверхностное натяжение различных жидкостей. Выясните, как действуют на поверхностное натяжение растворенные в воде соль, сахар и другие вещества.

2. Сделайте мыльные пузыри с помощью специального раствора (такие растворы иногда продаются в магазинах игрушек). Если его нет, приготовьте сами, растворяя в воде различные моющие средства. Чудесный материал для пузырей — вода с мылом и немного глицерина. Без сомнения, вы прекрасно умеете пускать пузыри через соломинку или трубочку. Но для этой же цели можно воспользоваться и металлической или пластмассовой пластинкой с круглыми отверстиями (размером в сантиметр или несколько меньше). Чтобы создать пузыри, надо только опустить такую пластинку в приготовленный раствор, а затем помахать ею в воздухе.

Как вы думаете, рыба, плавающая в океане, замечает, что вокруг нее вода? А собака ощущает, что ходит по дну воздушного океана? Привычка притупляет наблюдательность. Рыба, которая родилась в воде и провела в ней всю свою жизнь, без сомнения, не замечает воды и не ощущает давления, вызванного ее весом. Так же, как пес, конечно же, не обращает внимания на воздух вокруг себя и не чувствует его давления на свое тело. Мы тоже не заметили бы этого, если только не услышали бы от кого-нибудь или не прочитали в книгах.

Что-то должно произойти, чтобы мы обратили внимание на воздух. Или он начинает быстро двигаться, и ветер дует нам в лицо, или в нем образуется хорошо видимое облако. Но самый наглядный способ убедиться в наличии воздуха — увидеть, как он давит на находящиеся в нем предметы.

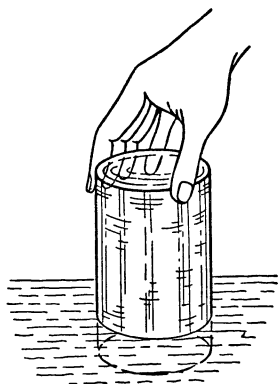
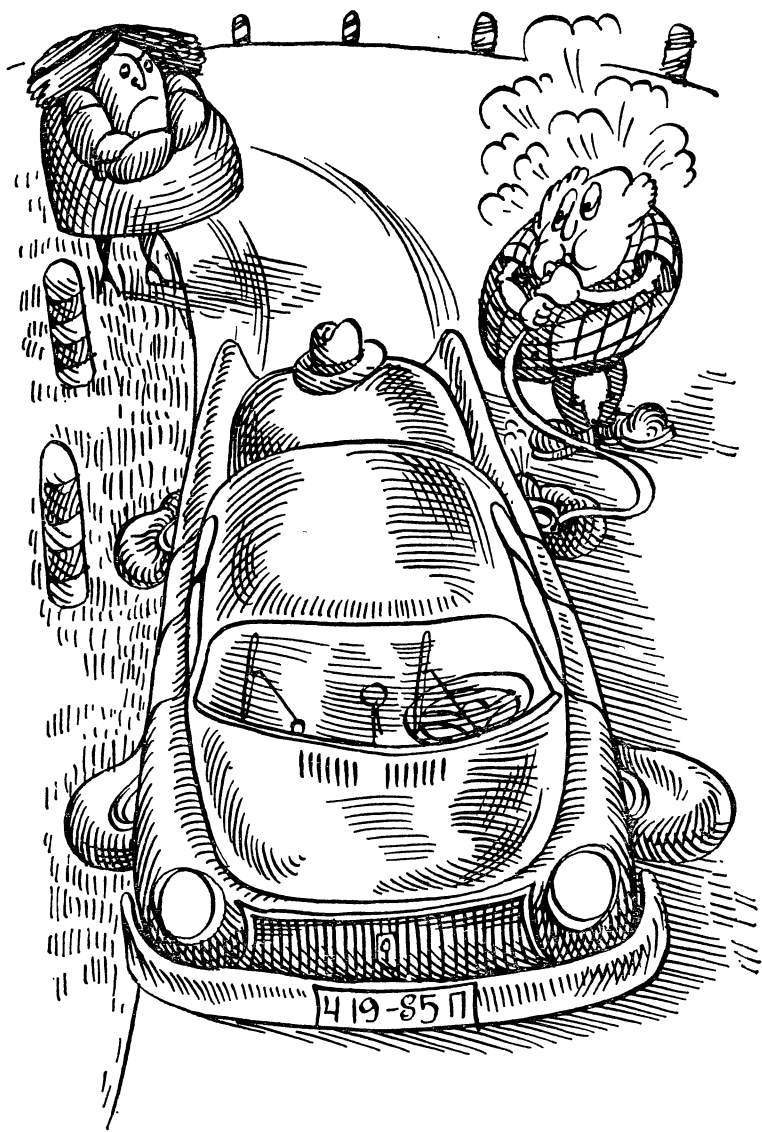


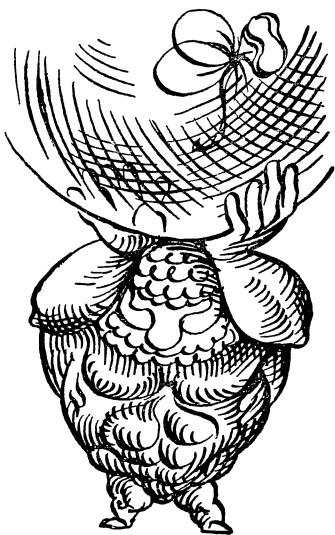
Рис. 25. Подъем воды из ванны

Возьмите пластмассовый стакан или другой сосуд и полностью погрузите его в воду в ванне. Подождем, пока стакан заполнится водой и перевернем его вверх дном. Медленно начнем вытаскивать его из воды. Смотрите! Вода поднимается вместе со стаканом, и уровень ее намного выше, чем уровень воды в ванне. Казалось бы, воду в стакане ничто не поддерживает. Но это, конечно, не так, иначе бы она упала. Что же это за сила, поднимающая воду?

На несколько сотен километров вверх простирается над нами океан воздуха. Хотя воздух нам кажется совершенно невесомым, он оказывает значительное давление на все предметы на поверхности Земли — около 1 кгс



(или 9,8 Н) на каждый квадратный сантиметр. Ваша ванна, конечно, не исключение, воздух давит на поверхность воды в ней так же, как и на все остальное вокруг.



Когда мы начинаем вытаскивать перевернутый вверх дном стакан, вода в нем стремится опуститься под действием силы притяжения Земли. Однако опуститься она не сможет. Почему? Чтобы разобраться в этом, представьте, что вода действительно немного опустилась, как показано на рис. 26. Что будет в пространстве над штриховой линией *A*? Естественно, воздуха здесь нет, а значит, и его давления тоже. Другими словами, в стакане на уровне *A* атмосферное давление на поверхность воды не действует.

Теперь посмотрим на стрелки *B* и *C*. Они показывают, как действует атмосферное давление на поверхность воды в ванне. Воздух давит на воду, она сжата этим воздухом, а значит стремится заполнить образовавшееся пустое пространство. В результате, как только

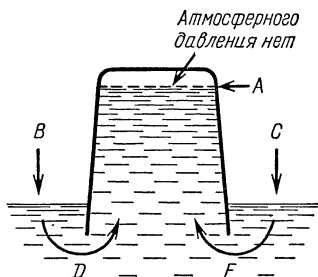


Рис. 26. Так атмосферное давление поддерживает воду

вода начнет выливаться из стакана, давление будет гнать ее обратно в пространство над уровнем *A*, как показано на рисунке стрелками *D* и *E*.

На самом деле вода в стакане никогда не опускается настолько, чтобы это стало заметным, атмосферное давление немедленно возвращает ее обратно в стакан и удерживает там, пока мы вытаскиваем его.

Но если вода удерживается атмосферным давлением в стакане высотой 15 см, будет ли она так же удерживаться в сосуде высотой в 30 см? А в 60-сантиметровом? 3-метровом? 5-метровом? Если дома у вас отыщется соответствующая посуда, вы убедитесь, что вода удерживается и в них. Однако есть предел высоты водяного столба, который может быть удержан таким способом. Вода имеет массу намного большую, чем масса воздуха, если сравнивать равные их объемы. Вода в 800 раз тяжелее, чем воздух такого же объема. Вода, как и воздух, давит на находящиеся в ней тела. Оказывается, что на глубине примерно 10 м сила давления воды на квадратный сантиметр становится равной 1 кгс (9,8 Н), что совпадает с нормальным атмосферным давлением. Значит, давление столба воды высотой 10 м (а точнее 10 м 33 см) как раз уравновешивает атмосферное давление, которое удерживает воду в сосуде. Таким образом, вы видите, что высота столба воды не может заметно превышать 10 метров.

Представим себе высокий, 15-метровый «стакан» (вернее — трубу), перевернутый вверх дном, который мы вытаскиваем из воды, как показано на рис. 27. Когда закрытая часть «стакана» достигнет высоты около 10 м над уровнем воды, жидкость в «стакане» перестанет подниматься. Мы продолжаем поднимать «стакан», но вода внутри него стоит на прежнем уровне. При этом в сосуде выше уровня воды образуется пустое пространство.

Что случится с водой в сосуде, если атмосферное давление в силу каких-либо причин уменьшится? Новое атмосферное давление сможет удерживать уже меньший столб воды, и уровень ее в «стакане» понизится. А если внешнее давление воздуха

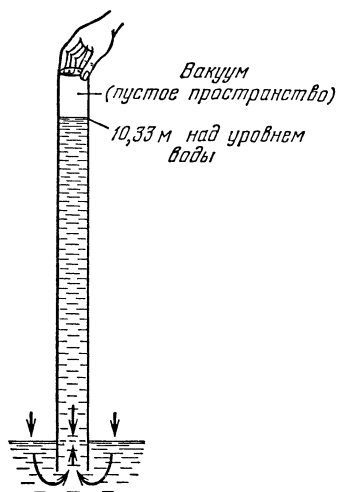


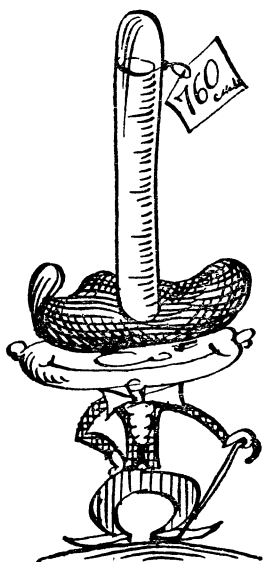
Рис. 27. Водяной барометр

увеличится? Оно сможет удерживать высоту столба, большую чем 10 м, и вода в сосуде начнет подниматься.

В сущности, мы с вами разобрали принцип действия прибора — барометра, с помощью которого измеряют атмосферное давление. В нашем случае атмосферное давление уравнивается столбиком воды определенной высоты. Давление воздуха может быть измерено высотой водяного столба, который он в состоянии удерживать.

Водяной барометр такого типа был изобретен Отто фон Герике несколько столетий назад. В качестве «стакана» он использовал стеклянную трубу, закрытую на верхнем конце, которую наполнил водой и установил возле своего дома. Труба была опущена в резервуар с водой. Герике поставил барометр так, что уровень в верхней части трубы был виден отовсюду жителям городка, и те могли наблюдать, как поплавок на поверхности воды в трубе, отмечавший ее уровень, поднимался и опускался соответственно с изменениями атмосферного давления. Если поплавок в барометре Герике резко падал, горожане уже знали, что давление воздуха падает, и, скорее всего, близится ненастье. А когда поплавок поднимался в трубе, это означало, что хорошая погода скоро придет в городок.

Почему изменение атмосферного давления означает вероятное изменение погоды? Оказывается, теплый влажный воздух, который обычно приносит пасмурную погоду, легче холодного и сухого — предвестника ясной хорошей погоды. Значит, при ухудшении погоды давление должно падать, а при улучшении — повышаться. Барометр — широко используемый прибор. Правда, труба высотой более 10 м, да еще наполненная водой, очевидно, очень неудобна для применения.



Можно значительно укоротить трубу, если вместо воды использовать ртуть — жидкий металл, который в 13,6 раза тяжелее воды. В ртутном барометре давление, уравнивающее атмосферное, создается столбом жидкости высотой всего лишь $1/13,6 \times 10,33 = 76$ см. Это, конечно, намного удобнее, чем

10 с лишним метров, поэтому в барометрах вместо воды лучше использовать ртуть. Такой прибор по своей конструкции ничем не отличается от водяного, показанного на рис. 27, только он намного меньше, и трубку не обязательно придерживать рукой — она закрепляется в необходимом положении каким-нибудь более удобным способом.

Насосы и дыхание

Наверное, вам приходилось накачивать велосипедную камеру с помощью насоса? Если так, то вы уже знаете, что, нажимая на ручку насоса вниз, человек с усилием загоняет воздух в камеру. А когда он поднимает ручку вверх, насос наполняется атмосферным воздухом, чтобы при следующем движении вниз передать его в камеру.

Но знаете ли вы, что в нашем теле действует механизм, подобный насосу, который работает днем и ночью, во время бодрствования и крепкого сна. Мы имеем в виду легкие, с помощью которых осуществляется дыхание — необходимое условие нашего существования.

Сходство аппарата дыхания с насосом станет яснее, если проделать следующий опыт. Возьмите в рот соломинку для коктейлей и потяните через нее лимонад из бутылки. Жидкость поднимется по соломинке и попадет в рот. Не напоминает ли вам это подъем воды в перевернутом стакане, когда мы его вытаскиваем из ванны? Что заставляет лимонад подниматься? Наружное давление воздуха толкает его вверх точно так же, как толкало вверх воду в перевернутом стакане. Но лимонад не попал бы в рот через соломинку, если бы давление внутри рта не было меньше наружного атмосферного давления. Как же это достигается?

В верхней части нашего тела, в грудной клетке, находятся два эластичных воздушных резервуара — легкие. Если увеличить пространство внутри грудной клетки, то воздух в легких займет больший объем и давление его уменьшится. Вследствие этого атмосферный воздух, находящийся под большим давлением, проникнет в легкие через рот или нос. Если во рту у нас соломинка, а конец ее погружен в жидкость, наружное атмосферное давление будет гнать жидкость по соломинке в область пониженного давления, т. е. в рот. В результате вы как бы качаете жидкость в себя насосом.

Как же телу удается увеличить объем грудной клетки? Когда происходит вдох, перегородка в брюшной полости (диафрагма) опускается, объем грудной клетки увеличивается и легкие расширяются. Давление воздуха в легких

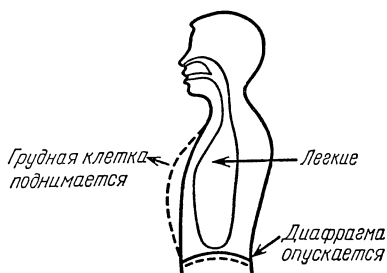


Рис. 28. Вдох

падает, и воздух снаружи, из области с большим давлением проходит внутрь тела.

Увеличение объема грудной клетки происходит также благодаря тому, что грудные мышцы раздвигают ребра. При этом свободное пространство опять-таки увеличивает-

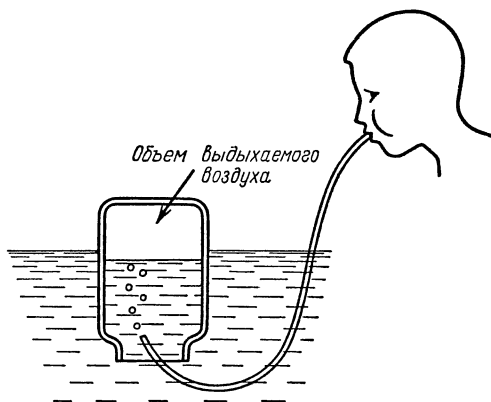


Рис. 29. Измерение объема выдыхаемого воздуха

ся, давление понижается и туда устремляется наружный воздух.

При выдохе происходит обратный процесс. Диафрагма поднимается, а ребра сближаются, что уменьшает объем легких. Давление воздуха внутри них возрастает, и часть воздуха выталкивается наружу через ноздри или рот. Понаблюдайте все это на самом себе.

Чувствуете, что при дыхании ваш живот колеблется? При вдохе он поднимается. Это указывает на то, что диафрагма брюшной полости опускается, увеличивая объем легких. При выдохе происходит сокращение этого пространства. Осуществляется оно опять диафрагмой и грудными мышцами. Воздух в легких сжимается, давление его возрастает, и он стремится выйти из тела.

Ну-ка, вздохните теперь поглубже. Чувствуете, что вместе с животом сильно поднимается и грудная клетка? А сколько воздуха можно вдохнуть? Это очень просто определить. Возьмем банку и погрузим ее в ванну, перевернув вверх дном. Пусть банка плавает, почти наполненная водой. Просунем в горло банки резиновую трубку, как показано на рис. 29. Возьмем другой конец трубки в рот и выдохнем воздух так же, как при обычном дыхании.

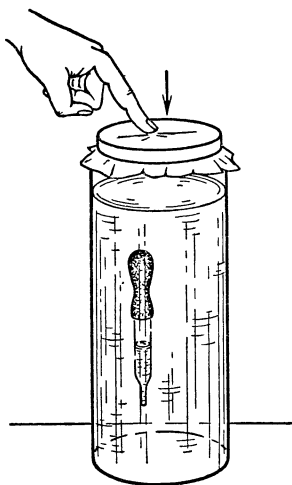


Рис. 30. «Картезианский водолаз»

Сколько воздуха попало в банку? Это и есть объем дыхания. Повторим опыт, только на этот раз выдохнем настолько глубоко, насколько это возможно. Наверное, вам удастся вытолкнуть всю воду из литровой банки. Можно попробовать повторить измерения, взяв двух- или трехлитровую банку. Интересно, каков максимальный объем вашего выдоха?

ЗАДАЧИ

1. Есть интересное устройство, которое называется «картезианский водолаз» (см. рис. 30). Оно часто демонстрируется в качестве «волшебного» трюка. Заключается трюк в том, что можно опускать и поднимать плавающую в банке фигурку «водолаза» по своему желанию. При нажатии пальцем на крышку или гибкую резиновую пленку, закрывающую сосуд, водолаз опускается, а если ослабить нажим, водолаз всплывает. Объясните, почему это происходит.

2. Учитель вскипятил немного воды в чистой жестяной банке, объемом один литр. Затем он выключил плитку,

тщательно запалял банку и поставил ее на стол. Спустя некоторое время банка стала прогибаться вовнутрь. Прогиб медленно увеличивался, пока банка совершенно не сплющилась. Как объяснить происшедшее?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Попробуйте сделать «картезианского водолаза», как показано на рис. 30. В качестве «водолаза» можно использовать обычную медицинскую пипетку, частично наполненную водой. Пустите ее плавать и внимательно изучите ее поведение. Что происходит с водой в пипетке, когда вы надавливаете на резиновую крышку и когда отпускаете ее?

2. Наполните водой длинную резиновую или пластмассовую трубу. Один конец погрузите в воду в ванне, а другой опустите в пустое ведро на полу ванной комнаты. Вода польется из ванны в ведро без всяких усилий с вашей стороны. Такое приспособление называется сифоном. Постарайтесь поднять ведро выше уровня воды в ванне прежде чем оно наполнится доверху. Вы увидите, что в этом случае вода начнет возвращаться из ведра обратно в ванну. Исследуйте это интересное явление и найдите ему объяснение.

Возьмем пустую металлическую или пластмассовую миску с круглым дном и опустим ее плавать в ванне. Раскрутим миску. Сколько времени она будет вращаться сама по себе? Довольно долго, не правда ли? На твердом столе она, конечно, остановилась бы гораздо раньше.

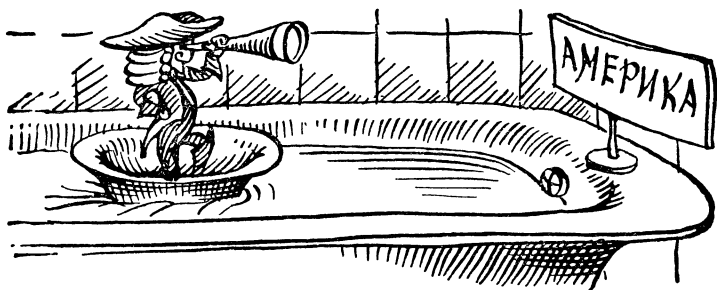
Теперь поместим плавающую миску у края ванны и слегка толкнем ее. Удивительно, но миска пересекает ванну, почти не меняя заданной ей скорости. Этого бы не произошло, если бы мы то же самое проделали на полу. Там такой легкий толчок заставил бы миску только слегка вздрогнуть.

Почему же по воде миске двигаться гораздо легче, чем по твердой поверхности?

Трение

Предположим, что миска стоит на твердом столе. Сила тяжести прижимает ее к поверхности стола. Невидимые неровности на дне миски и на поверхности стола сцепляются и мешают миске двигаться. Чтобы заставить миску двигаться по столу, нужно толкнуть ее с достаточной силой, способной разорвать эти связи. Между телом и твердой поверхностью, еще до начала движения, возникают силы трения.

Из сказанного, наверное, ясно, что один из путей уменьшить трение заключается в том, чтобы сделать поверхность гладкой. А что может быть более гладким, чем жидкость, легко обтекающая твердые предметы? При движении твердого тела в жидкости нет сцепляющихся твердых частей. Жидкость, в которой плавает миска или другой твердый предмет, после любого толчка просто обтекает предмет и дает ему возможность двигаться. Такое действие жидкости известно под названием смазы-



вающего, а жидкость, используемая для уменьшения трения, называется смазкой.

Малое трение из-за смазывающего действия воды — вот причина того, что многие несчастные случаи дома происходят именно в ванной комнате. Чтобы понять это, сначала подумаем над одной из причин, по которой мы носим обувь? Когда мы идем, ноги отталкиваются от пола, а это возможно только вследствие трения. Обувь способна обеспечить лучшее сцепление подошв с полом, большее трение.

В ванне трение резко уменьшается. Кожа ступней довольно гладкая, гладкая и поверхность ванны, кроме того сказывается смазывающий эффект воды между ними. В результате полезное действие трения, так необходимое для ходьбы, оказывается намного меньшим. И от самого обычного движения здесь можно поскользнуться и упасть. Многие ванны на дне имеют специальную грубую насечку для увеличения трения. Со временем, должно быть, ванны будут изготавливать из специальных материалов, создающих большое трение, и люди перестанут падать в них.

Катание на коньках — еще один интересный пример смазывающего действия воды. Когда тонкое лезвие конька давит на поверхность льда, то часть льда подтаивает. Таким образом, лезвие смазывается жидкостью и легко скользит по глади катка, подобно тому, как скользила миска по поверхности воды в ванне. Если внимательно приглядеться к следу, тянущемуся за конькобежцем, можно увидеть, что вода быстро замерзает, а на льду остается заметный след.

В технике в качестве смазывающего материала чаще всего используют масла. Маслом смазывают металлические детали машин, чтобы они не терлись сильно друг о друга. Когда металлическая деталь смазана, трение на-

много меньше, чем при контакте металл — металл, и части машины легко скользят друг по другу.

Некоторые водители автомобилей не вполне понимают важность смазки при работе двигателя. Допустим, масло случайно вытекло из двигателя, или масляный насос засорился и не подает масло в нужные места. Обычно в таких случаях, как только давление масла падает и оно перестает поступать к важным деталям машины, на приборном щитке загорается красная лампочка, предупреждающая водителя. Если после этого все-таки не остановить автомобиль, то уже через несколько минут двигатель может полностью выйти из строя из-за сильного перегрева, вызванного трением его частей друг о друга.

Инерция

Скольжение миски по воде после толчка демонстрирует нам еще один важный закон физики — закон инерции. Каждое тело, находящееся в движении, стремится сохранить это движение, если на него не действуют силы. Когда мы толкнули миску, она свободно скользит по воде, двигаясь по прямой линии с заданной скоростью. Конечно, в действительности, существует, хоть и очень небольшое, трение между миской и водой. Поэтому-то движение миски будет постепенно замедляться, пока не прекратится совсем.

Если движение в воде происходит очень быстро, то и сопротивление возрастает. Например, мотору лодки, мчащейся на большой скорости, требуется развивать большее усилие, чем когда она плывет медленно. Бурные волны, которые образуются за быстро двигающейся лодкой, этому наглядное доказательство. При остановке мотора лодка сначала резко замедляет ход, а затем, когда интенсивное образование волн прекращается, сопротивление значительно уменьшается, и она еще долго будет скользить по гладкой воде с очень маленькой скоростью, пока не остановится совсем.

То обстоятельство, что на тела в воде не действуют большие силы трения, сыграло очень важную роль в развитии нашей цивилизации. Малое трение в воде означает, что при движении лодки и груза в ней с небольшой скоростью не надо прикладывать большого усилия. Гладкая поверхность рек, озер, морей — это готовые природные дороги, по которым корабли могут двигаться во всех направлениях. Поэтому затраты на перевозку грузов по

воде, особенно на дальние расстояния, были в древности значительно меньше, чем если бы люди и товары перевозились по суше любым известным тогда способом. В связи с этим многие ранние цивилизации зарождались у водных путей, люди селились вдоль рек, на берегах озер и морей. Первые переселенцы из Европы в Северной Америке располагались на островах и у побережья океана. Только через много столетий, когда начали строиться железные дороги, стали расти крупные города и внутри континента. Могли ли мы хоть на минуту представить себе, когда толкали миску в ванне, что демонстрируем закон науки, повлиявший на историю человечества.

Устойчивость плавающих тел

Погрузим деревянный брусок сантиметров в 30 длиной вертикально в воду. Попробуем заставить его плавать в таком положении. Как бы мы не бились — это не удастся — брусок не «хочет» плавать вертикально. Он немедленно переворачивается и ложится горизонтально. Вертикальное положение является для него неустойчивым, а горизонтальное — устойчивым.

Теперь сделаем то же самое с пустым закрытым пузырьком. Пузырек тоже переворачивается и плавает горизонтально.

Теперь будем класть в него шайбочки или монеты, но не все сразу, а по одной, не забывая каждый раз закрывать пузырек. Каждый добавленный груз заставляет пузырек опускаться в воду все ниже и ниже. Когда монет

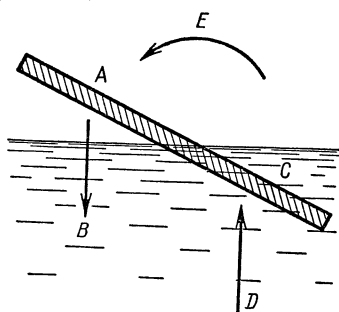


Рис. 31. Неустойчивое положение бруска

станет достаточно много, исчезнет проблема, как установить пузырек в вертикальном положении. Он встанет так сам по себе. Даже если вы попытаетесь положить его горизонтально, он тут же вернется в вертикальное положение. Теперь это положение будет для него устойчивым, а горизонтальное — неустойчивым.

В первом опыте можно осторожно нагружать один из концов деревянного бруска так, чтобы не утопить его. Можно привязать к концу бруска какую-нибудь тяжесть,

например, свинцовое грузило или гвозди. При достаточном грузе брусок поведет себя так же, как и пузырек, наполненный монетами, — начнет плавать вертикально. Почему же это происходит? Прежде всего заметим, что дерево — вещество, которое не тонет в воде. Другими словами, если погрузить деревянный предмет в воду, то выталкивающая сила обязательно поднимет его на поверхность. Выталкивающая сила всегда направлена вверх. В случае дерева она больше, чем направленная вниз сила земного притяжения, именно поэтому брусок поднимается.

Теперь представим себе брусок без дополнительных грузов, который мы держим в воде под углом к поверхности, как показано на рис. 31. Что произойдет, если его отпустить? Чтобы ответить на этот вопрос, надо посмотреть, какие силы приложены к разным участкам бруска. Одна его часть (*A*) находится над водой. На эту часть не действует выталкивающая сила. Единственной силой, действующей на нее, является сила тяжести, показанная на рис. 31 стрелкой *B* и направленная вертикально вниз. Другая часть бруска (*C*) находится под водой. Значит, на нее действует направленная вверх выталкивающая сила, которая превышает силу тяжести. Суммарная сила, приложенная к этой части бруска, тоже направлена вверх и показана на рисунке стрелкой *D*. Теперь исследуем совместное действие сил *B* и *D* на весь деревянный брусок. Сила *B*, приложенная к левой стороне, пытается опустить его, а сила *D*, приложенная к правой части, заставляет двигаться вверх. Совместно эти две силы стремятся повернуть брусок в направлении, указанном стрелкой *E*. Такой поворот и приводит его в горизонтальное положение; только лежа на поверхности воды, брусок может находиться в устойчивом состоянии равновесия.

Давайте теперь подумаем, что происходит, когда к концу бруска (*A*) привязан предмет (см. рис. 32), сделанный из тяжелого металла (но не такой тяжелый, чтобы утянуть весь брусок на дно). Груз будет стремиться опустить брусок вниз, так как на него действует сила тяжести, показанная на рисунке стрелкой *G*. В результате брусок погрузится в воду глубже, чем обычно. Над водой окажется меньшая часть бруска, а под водой — большая (рис. 33). Поскольку вода выталкивает дерево, на брусок действует направленная вверх сила, обозначенная стрелкой *H*. Теперь две силы (*B* и *H*) будут поворачивать брусок в направлении, указанном стрелкой *I*, и он перейдет в вертикальное положение. Дополнительный груз на конце

бруска приводит к тому, что именно это положение теперь для него единственно устойчивое.

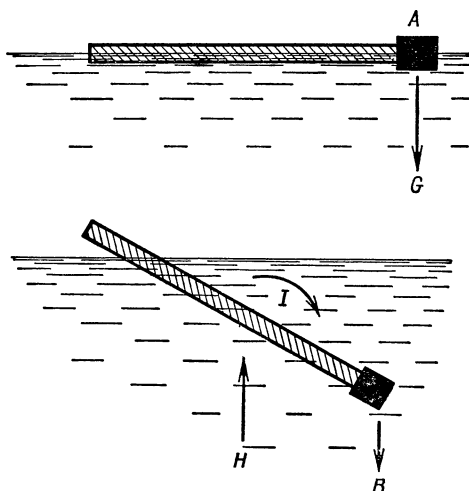


Рис. 32—33. Брусok с грузом в воде

Предположим, что мы попытаемся установить нагруженный брусok в вертикальном положении, но так, чтобы груз был вверху. Установить брусok строго вертикально очень трудно, так как малейшая волна отклоняет его.

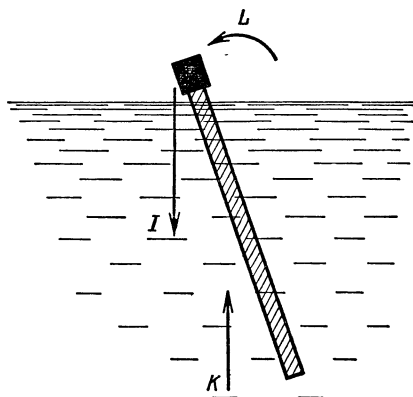


Рис. 34. Еще одно неустойчивое положение бруска

Тогда тяжелый груз наверху заставляет брусok крениться, например, влево, как показано на рис. 34 стрелкой *I*.

В то же время выталкивающая сила воды (K) действует на нижнюю часть бруска, поднимая ее вправо. Совместное действие этих двух сил (I и K) поворачивает брусок в направлении, показанном стрелкой L . Когда он окажется в горизонтальном положении, груз по-прежнему будет тянуть свой конец вниз. Брусок продолжает поворачиваться, пока не придет опять в вертикальное положение, но теперь груз окажется под водой.

Конструкторы обязательно должны учитывать эти поворачивающие силы при разработке новых моделей кораблей. Корабли с перегруженным верхом, случалось, опрокидывались во время шторма. Как-то один капитан распорядился загрузить бревна на верхнюю палубу, что сделало корабль неустойчивым. Когда начался шторм, бревна покатались по палубе к одной из боковых сторон, вызвав крен корабля на большой угол. Корабль зачерпнул воду и пошел ко дну.

Наши рассуждения относятся и к способности людей удерживаться в вертикальном положении. У человеческого тела большая часть массы расположена выше точек опоры — ног. И если человек сильно наклонится, сила тяжести опрокинет тело точно так же, как опрокидывается брусок с грузом в ванне. Природа снабдила человека большими ступнями, которые в некоторой степени предохраняют его от такого падения. Но в детстве каждый из нас затрачивает много сил и времени, чтобы научиться трудному искусству держаться на ногах и сохранять вертикальное положение тела. Четвероногим животным намного легче постигнуть эту премудрость. Горизонтальное положение тела животного гораздо устойчивее, чем вертикальное положение человеческого тела.

Вам, наверное, может показаться, что неустойчивое положение человека на двух ногах — большое неудобство. Само по себе это конечно так, но такое «неудобное положение» освободило две передние конечности, человек смог брать различные предметы, потом сам изготавливать орудия труда, что и сделало человека человеком. Многие ученые считают, что способность ходить прямо сыграла важную роль в сохранении человеческого рода. Человек стал выше травы на лугах, покрывавших большую часть суши миллионы лет назад. Он смог выпрямиться, посмотреть поверх травы и обнаружить как животных, на которых он охотился, так и врагов-хищников. Затем при необходимости можно было опуститься в траву и передвигаться незамеченным.



Не удивительно ли, что силы, которые действуют в обычной ванне, оказывается, повлияли на внешний вид человека и его историю, а также на развитие других живых существ на Земле.

ЗАДАЧИ

1. В какой части лодки лучше всего укладывать тяжелые предметы? Объясните ваш ответ.

2. Катамараном называется широкая лодка, установленная на двух поплавках, прикрепленных к бортам. В чем преимущество такой конструкции?

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Погрузите надутый воздухом резиновый шарик под воду в ванне и отпустите его. Выпрыгнет ли он из воды? Прodelайте тот же самый опыт с куском дерева. Поднимется ли он быстрее или медленнее шара? Подумайте, почему различные плавающие предметы, погруженные под воду, поднимаются с разной скоростью.

2. Присмотритесь к поверхности воды во вращающейся чашке или стакане. Чтобы раскрутить стакан или чашку, можно аккуратно поставить сосуд в центр-диска проигрывателя, а потом включить его. Конечно, лучше для этого воспользоваться старым проигрывателем, а диск прикрыть полиэтиленом на случай, если вода прольется. Воды нужно налить поменьше, во избежание расплескивания и порчи проигрывателя. Начинайте с самых медленных оборотов, а потом постепенно увеличивайте их, замечая, что происходит с водой.

РАЗДЕЛ 2

1. Расстояние между гребнями соседних волн (длина волны) 10 м. Волны проходят под лодкой каждые 4 с. Таким образом, чтобы занять положение предыдущей волны, данной волне надо пройти 10 м за 4 с. Скорость волны определяется как расстояние (10 м) между гребнями волн, деленное на время (4 с): $10/4$, или 2,5 м/с. Выход из залива находится на расстоянии 400 м от нас. Двигаясь со скоростью 2,5 м/с, волна достигнет выхода из залива через $400/2,5 = 160$ с, т. е. через 2 мин 40 с.

2. Предположим, первая волна вышла из антенны передатчика. Когда она пройдет расстояние 300 м, из антенны начнет выходить следующая волна. К концу первой секунды передачи станция выпустит уже 1 миллион таких волн, и все они будут иметь длину 300 м. Расстояние между самой первой волной и той, которая покинет антенну через 1 с, будет равно $300 \times 1\,000\,000 = 300\,000\,000$ м, или 300 000 км. А так как прошла всего одна секунда, то скорость волны как раз и будет составлять 300 000 км/с. (Точное значение скорости света и радиоволн, найденное из эксперимента — 299792,5 км/с.)

РАЗДЕЛ 3

1. Одежда и тело человека мягкие, поэтому они поглощают звуковые волны в большей степени, чем твердые кресла и пол. Кроме того, то, что люди сидят в креслах вертикально, создает как бы «неровную» поверхность, рассеивающую звуки во всех направлениях. Поэтому, когда зал полон слушателей, степень отражения звука меньше, а его поглощение и рассеяние — больше, чем в их отсутствие. В этом причина разного восприятия музыки в полной и пустой аудитории.

2. Звук распространяется со скоростью 330 м/с. За 25 с он пройдет расстояние $25 \times 330 = 8250$ м, т. е. свыше 8 км. Человек может даже не связать в своем сознании удар грома с молнией, которую он видел 25 с назад. Бывали такие сильные извержения вулканов, что грохот от них разносился на сотни километров вокруг. В отдаленных местах его слышат только через 10—20 мин после извержения.

3. Скорость звука составляет 330 м/с. За 1,3 с звуковая волна пройдет $1,3 \times 330 = 429$ м. Но волне необходимо дойти до утеса и вернуться назад. А значит, расстояние до него составляет половину всего пути волны, или $429/2 = 214,5$ м.

РАЗДЕЛ 4

1. Оконное стекло одновременно пропускает через себя большую часть света и отражает остальную его часть. Сначала рассмотрим случай, когда мы находимся внутри помещения. Ночью здесь намного светлее, чем на улице, поэтому отраженные лучи заметнее, чем незначи-

тельное количество света, приходящее снаружи. Зато днем освещенность на улице много больше, чем в комнате. Поэтому в дом попадает гораздо больше света, чем отражается от стекла, и отражение становится почти невидимым, предметы за окном видны очень ясно. С помощью аналогичных рассуждений вы легко разберетесь со случаем, когда наблюдатель находится снаружи — днем и ночью.

2. Способа, по которому можно отличить идеальное зеркальное изображение от реального предмета только зрительным наблюдением, не существует. Если войти в незнакомую комнату, на стене которой висит чистое зеркало, огромное — во всю стену, и без рамы, которая ограничивала бы его и придавала бы привычный для зеркала вид, то определить, где изображения, а где истинные предметы, вы не сможете. Изображения покажутся подлинными предметами за зеркалом, а комната — в два раза большей, чем она есть на самом деле.

3. Вы видите через маску предметы так четко из-за того, что перед глазами есть слой воздуха. Происходит привычное для глаза преломление лучей света, переходящих из воздуха в прозрачное вещество глаза. В результате линза глаза (хрусталик) может сфокусировать изображение на сетчатке — светочувствительной области на дне глазного яблока. Но как только вы снимете маску, вода будет соприкасаться с глазами, и при переходе лучей из воды в вещество глаза степень их преломления будет меньше, чем при переходе из воздуха в глаз. Поэтому хрусталику уже не удастся собрать лучи точно на сетчатке — изображение становится размытым

РАЗДЕЛ 5

1. В Северной Канаде возле магнитного полюса северный конец магнитной стрелки (если она свободно вращается в вертикальной плоскости) опустится строго вниз. Если переносить магнит на юг, наклон стрелки будет изменяться. Например, на севере США она отклонится на угол 70° , на юге США — на 50° . Вблизи экватора отклонение будет очень малым или вообще исчезнет. Следовательно, и ванна в городе Кито, расположенном на экваторе, будет намагничена горизонтально. Северный полюс будет находиться на той стороне ванны, которая обращена на север, а Южный — на стороне, обращенной к югу.

2. В Аргентине, на широте 55° южный конец стрелки компаса будет указывать на юг и вниз в сторону какой-то точки под Антарктикой. Поэтому нижняя часть ванны будет южным ее магнитным полюсом, а верхняя — северным.

РАЗДЕЛ 6

1. Объем бассейна составляет $20 \times 10 \times 2 = 400 \text{ м}^3$, или 400 000 л (так как один кубический метр вмещает 1000 литров). Вода льется со скоростью 4 л/с. Значит, чтобы наполнить бассейн, понадобится $400\,000/4 = 100\,000 \text{ с}$. В одном часе $60 \times 60 = 3\,600 \text{ с}$. Следовательно, нам нужно $100\,000/3\,600 \approx 28$ часов, чтобы наполнить бассейн.

2. Через 5 мин при скорости струи 15 л/мин в ванну попадет $5 \times 5 = 75 \text{ л}$ воды. Останется налить $250 - 75 = 175 \text{ л}$ воды. После того как скорость заполнения водой ванны изменится и станет равной 8 л/мин, чтобы добавить 175 л, понадобится $175/8 \approx 22 \text{ мин}$. В результате общее время составит $5 + 22 = 27 \text{ мин}$. Если бы скорость струи не менялась, и вода продолжала бы литься по 15 л/мин, то она наполнила бы ванну за $250/15 \approx 17 \text{ мин}$.

РАЗДЕЛ 7

1. Если спасательный круг полностью находится под водой, он выталкивается силой, значительно превосходящей силу тяжести. Это обусловлено тем, что плотность материала, из которого сделан круг, намного меньше плотности воды. Поскольку выталкивающая сила действует на круг и на все, что к нему прикреплено, то человек в спасательном круге выталкивается из воды. Подниматься над водой он перестанет тогда, когда общая масса круга и тела станет равной массе воды, вытесняемой оставшейся под водой частью тела и затопленной частью спасательного круга.

2. Предмет всегда будет идти ко дну в жидкости, плотность которой меньше его собственной плотности, и всегда будет плавать в жидкости с большей, чем у него плотностью. Керосин (плотность — 0,82 кг/л) менее плотный, чем вода (плотность — 1 кг/л), поэтому он плавает на воде. У воска плотность 0,9 кг/л — тоже меньше, чем у воды, но больше, чем у керосина. Так как он легче воды и тяжелее керосина, то воск будет плавать на воде, но под керосином. Конечно, ситуация меняется, если вещество растворяется в воде или керосине. Проведите опыт с воском, водой и керосином. Растворяется ли воск? Что произойдет, если вместо него взять кусок сахара?

3. Архимед решил проблему таким способом: поместил слона на большой плот и отметил, на какую глубину плот погрузится в воду под тяжестью слона. Затем он убрал слона и нагрузил тот же плот слитками золота, добавляя их до тех пор, пока плот не опустился до отмеченного уровня. Масса плота с золотом стала равна массе плота со слоном, а значит, масса золота сравнялась с массой слона.

РАЗДЕЛ 8

1. Сравним два одинаково нагретых кубических предмета. Тепло излучается с каждой из их шести граней. А теперь предположим, что мы сдвинули эти два предмета и образовали из них один большего размера. Теперь две грани, с каждой из которых уходило тепло в воздух, соединены, и тепло с них больше не уходит. Суммарная скорость потери тепла уменьшилась, поэтому такой скомбинированный предмет охлаждается медленнее.

Как правило, большая масса имеет меньшую поверхность по отношению к величине массы, чем маленькая. А так как тепло теряется именно через внешнюю поверхность, то и возможность терять его у большей массы меньше. Значит, большая масса горячего вещества остывает не так быстро, как меньшая примерно такой же формы, поэтому стакан с чаем будет остывать быстрее ванны.

2. Нагревание жидкости усиливает испарение, так как при этом увеличивается скорость молекул, и следовательно, их способность вырываться из жидкости. Испарение усиливается, если подуть на поверхность жидкости, так как при этом от нее отводятся уже вылетевшие молекулы, которые могли бы вернуться обратно в жидкость. Перелив жидкость в сосуд с более широким горлом, мы тоже увеличим испарение, так как площадь, с которой молекулы могут покинуть жидкость, при этом возрастает, и увеличивается вероятность вылета молекул.

3. Испарение воды в сырой пасмурный день уменьшается, так как во влажном воздухе уже есть много молекул воды. В то время, как одни молекулы вылетают из жидкости, другие возвращаются в нее из воздуха. Возврат молекул, естественно, уменьшает суммарную скорость испарения.

В результате в пасмурный день охлаждающий эффект от испарения пота не такой сильный. Телу становится теплее, потому что оно теряет меньше тепла за счет испарения.

РАЗДЕЛ 9

1. Силы поверхностного натяжения будут стягивать пузырь к отверстию соломинки и выталкивать воздух через тот конец соломинки, который ранее был у нас во рту. Пузырь будет сжиматься.

2. Скрепка вытеснит небольшое количество воды, которое поднимется над краем пробирки. Но поверхностное натяжение не даст воде перелиться через край, и она останется в пробирке, только приподнимаясь горбиком. Вы можете добавить несколько скрепок и устроить довольно внушительный водяной холм, прежде чем вода начнет проливаться. Попробуйте провести этот опыт. Если у вас нет пробирки, используйте кувшин с узким горлом или бутылку. А если устанете добавлять скрепки, можно для ускорения эксперимента бросать монетки.

РАЗДЕЛ 10

1. Когда мы нажимаем на гибкую крышку сосуда с «картезианским водолазом», давление воздуха под крышкой возрастает. Это возросшее давление загоняет воду в открытое отверстие плавающей пипетки. Выталкивающая сила, действующая на нее, становится меньше, и пипетка опускается вниз. Убирая руку с крышки, мы снимаем добавочное давление воздуха внутри сосуда. Сжатый воздух в пипетке выбрасывает лишнюю воду наружу, занимая ее место, и возросшая выталкивающая сила поднимает пипетку вверх.

2. Пар, образовавшийся из воды, вытеснил воздух из жестяной банки. Значит, давление воздуха внутри банки почти полностью заменилось давлением водяного пара. Когда мы плотно закупорили жестянку, пар продолжал оставаться в ней. Постепенно он охладился и сконденсировался обратно в жидкость, которая занимает гораздо меньший объем по сравнению с объемом пара. Теперь почти во всем пространстве банки нет ни воздуха, ни пара. Соответственно, нет и давления, которое могло бы оказать сопротивление внешнему атмосферному давлению, равному примерно 10 Н/см^2 . Площадь поверхности обычной литровой банки составляет около 500 см^2 . Значит, полная сила, действующая на банку, составит $10 \times 500 = 5000 \text{ Н}$, что соответствует весу тела массой в полтонны — такой тяжести достаточно, чтобы сплющить банку. Банка будет сжиматься медленно, потому что пар конденсируется постепенно.

РАЗДЕЛ 11

1. Груз должен быть расположен на дне лодки. Подобно бруску с привязанным грузом лодка будет устойчива, только когда основная тяжесть находится в ее нижней части. Естественно, все корабли строятся с учетом этого принципа — массивные механизмы располагаются внизу, а надстройка делается из легкого материала и никогда не нагружается тяжелыми предметами.

2. Поплавки обеспечивают катамарану широкое основание, что делает его очень устойчивым. Как только одна из его частей по какой-либо причине погружается в воду, резко возрастающая выталкивающая сила немедленно поднимает ее обратно.

Х. Рачлис

ФИЗИКА В ВАННЕ

Серия «Библиотечка «Квант», выпуск 51

Редактор *Л. А. Панюшкина*

Художник *П. И. Чернуцкий*

Художественный редактор *Т. Н. Кольченко*

Технический редактор *Е. В. Морозова*

Корректоры *Т. С. Вайсберг, Л. С. Сомова*

ИБ № 12986

Сдано на фотонабор 25.10.85. Подписано к печати 24.03.86. Формат 84×108/32. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 5,04. Усл. кр.-отт. 5,46. Уч.-изд. л. 4,86. Тираж 220 000 экз. Заказ № 760. Цена 25 коп

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы

117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ В СЕРИИ «БИБЛИОТЕЧКА «КВАНТ»:

- Вып. 1. М. П. Бронштейн. Атомы и электроны.
Вып. 2. М. Фарадей. История свечи.
Вып. 3. О. Оре. Приглашение в теорию чисел.
Вып. 4. Опыты в домашней лаборатории.
Вып. 5. И. Ш. Слободецкий, Л. Г. Асламазов. Задачи по физике.
Вып. 6. Л. П. Мочалов. Головоломки.
Вып. 7. П. С. Александров. Введение в теорию групп.
Вып. 8. В. Г. Штейнгауз. Математический калейдоскоп.
Вып. 9. Замечательные ученые.
Вып. 10. В. М. Глушков, В. Я. Валах. Что такое ОГАС?
Вып. 11. Г. И. Копылов. Всего лишь кинематика.
Вып. 12. Я. А. Смородинский. Температура.
Вып. 13. А. Е. Карпов, Е. Я. Гик. Шахматный калейдоскоп.
Вып. 14. С. Г. Гиндикин. Рассказы о физиках и математиках.
Вып. 15. А. А. Боровой. Как регистрируют частицы.
Вып. 16. М. И. Каганов, В. М. Цукерник. Природа магнетизма.
Вып. 17. И. Ф. Шарыгин. Задачи по геометрии: планиметрия.
Вып. 18. Л. В. Тарасов, А. Н. Тарасова. Беседы о преломлении света.
Вып. 19. А. Л. Эфрос. Физика и геометрия беспорядка.
Вып. 20. С. А. Пикин, Л. М. Блинов. Жидкие кристаллы.
Вып. 21. В. Г. Болтянский, В. А. Ефремович. Наглядная топология.
Вып. 22. М. И. Башмаков, Б. М. Беккер, В. М. Гольховой. Задачи по математике: алгебра и анализ.
Вып. 23. А. Н. Колмогоров, И. Г. Журбенко, А. В. Прохоров. Введение в теорию вероятностей.
Вып. 24. Е. Я. Гик. Шахматы и математика.
Вып. 25. М. Д. Франк-Каменецкий. Самая главная молекула.
Вып. 26. В. С. Эдельман. Вблизи абсолютного нуля.
Вып. 27. С. Р. Филонович. Самая большая скорость.
Вып. 28. Б. С. Бокштейн. Атомы блуждают по кристаллу.
Вып. 29. А. В. Бялко. Наша планета — Земля.
Вып. 30. М. Н. Аршинов, Л. Е. Садовский. Коды и математика.
Вып. 31. И. Ф. Шарыгин. Задачи по геометрии: стереометрия.

- Вып. 32. В. А. Займовский, Т. Л. Колупаева. Необычные свойства обычных металлов.
- Вып. 33. М. Е. Левинштейн, Г. С. Сими́н. Знакомство с полупроводниками.
- Вып. 34. В. Н. Дубровский, Я. А. Смородинский, Е. Л. Су́рков. Релятивистский мир.
- Вып. 35. А. А. Михайлов. Земля и ее вращение.
- Вып. 36. А. П. Пурмаль, Е. М. Слободецкая, С. О. Травин. Как превращаются вещества.
- Вып. 37. Г. С. Воронов. Штурм термоядерной крепости.
- Вып. 38. А. Д. Чернин. Звезды и физика.
- Вып. 39. В. Б. Брагинский, А. Г. Полнарев. Удивительная гравитация.
- Вып. 40. С. С. Хилькевич. Физика вокруг нас.
- Вып. 41. Г. А. Звенигородский. Первые уроки программирования.
- Вып. 42. Л. В. Тарасов. Лазеры: действительность и надежды.
- Вып. 43. О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов. Международные физические олимпиады школьников.
- Вып. 44. Л. Е. Садовский, А. Л. Садовский. Математика и спорт.
- Вып. 45. Л. Б. Окунь. $\alpha\beta\gamma\dots Z$ (Элементарное введение в физику элементарных частиц).
- Вып. 46. Я. Е. Гегузин. Пузыри.
- Вып. 47. Л. С. Марочник. Свидание с кометой.
- Вып. 48. А. Т. Филиппов. Многоликий солитон.
- Вып. 49. К. Ю. Богданов. Физик в гостях у биолога.
- Вып. 50. Занимательно о физике и математике.

