

ПРИРОДА и КУЛЬТУРА

534

Б87

УИЛЬЯМ Г. БРЭГГ

# МИР ЗВУКА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Л. 200.



# THE WORLD OF SOUND

By  
Sir William Bragg

18  
- d

★

1887

1887

1887

1887

Депозитарий

ПРИРОДА И КУЛЬТУРА  
КНИГА ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ

53  
Б-87

УИЛЬЯМ Г. БРЭГГ

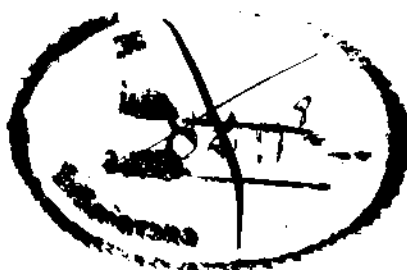
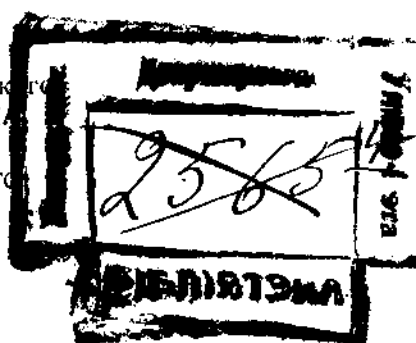
Проз. 1965

1573

МИР ЗВУКА

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО  
И. С. ГРАДШТЕЙНА  
ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
Э. В. ШПОЛЬСКОГО

608  
1315



1392336

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА ★ 1927 ★ ЛЕНИНГРАД

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА

ПРОВЕРЕНО  
1966 г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

О Т П Е Ч А Т А Н О  
в 1-й Образцовой типо-  
графии Госиздата.  
Москва, Пятницкая, 71.  
Главлит 72324 Гиз 15787  
Зак. 151 Тираж 5000

## ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Эта небольшая книжка составила из шести рождественских лекций, прочитанных автором в 1919 году перед юношеской аудиторией в Королевском институте Великобритании. Автор посвящает ее нескольким своим юным друзьям, а также „всем юношам и подросткам, которые ходили на эти лекции и составляли такую приятную аудиторию“. Как показывает самое название книжки—это не есть систематическое изложение учения о звуке, хотя бы и в популярной форме. Книга посвящена „миру звука“, т. е. всему тому сложному комплексу явлений природы и окружающей нас обыденной жизни, где звук играет роль. Различные акустические явления и законы излагаются попутно, исходя от привычных для нас наблюдений над „звуками города“, „звуками деревни“ и т. д. Такой метод изложения связан с большими трудностями и таит в себе много опасностей. Однако уже самое имя автора,— одного из наиболее выдающихся физиков нашего времени, на всех работах которого лежит печать прозрачной ясности мысли,—заранее гарантирует блестящее преодоление всех этих трудностей. И действительно, книга в полной мере может считаться образцом научной популяризации в лучшем смысле этого слова. Каждому, кто хочет ознакомиться с интереснейшей областью явлений звука, которые в нашей жизни играют такую важную роль и о которых обычно так поразительно мало знают, следует горячо рекомендовать чтение этой превосходной книжки.

Несколько месяцев тому назад в русском переводе появилась другая книжка того же У. Г. Брэгга-отца<sup>1)</sup>,

---

<sup>1)</sup> У. Л. Брэгг-сын, — также выдающийся физик, в настоящее время профессор Манчестерского университета.

подобно этой возникшая из цикла популярных лекций и так же как и эта носящая своеобразное название: „О природе вещей“ (Concerning the Nature of Things). Обе эти книжки могут служить превосходной иллюстрацией того общеизвестного положения, что лучшими популяризаторами науки являются только истинные творцы ее. Очень часто в качестве классического примера такой образцовой популяризации приводят „Историю свечи“ Фарадея. Может быть не лишним будет отметить, что все эти популярные лекции Брэгга читались в том самом Королевском институте, где учил и работал Фарадэй, и что во главе исследовательской лаборатории этого института, носящей имя Фарадея, стоит в настоящее время тот же Уильям Генри Брэгг.

Москва,  
Февраль 1927 г.

*Э. Шпольский.*

# ОГЛАВЛЕНИЕ.

|                                                        | <i>Стр.</i> |
|--------------------------------------------------------|-------------|
| Предисловие к русскому изданию Э. Шпольского . . . . . | V           |
| Что такое звук . . . . .                               | 1           |
| Звук в музыке . . . . .                                | 21          |
| Звуки города . . . . .                                 | 45          |
| Звуки деревни . . . . .                                | 67          |
| Звуки моря . . . . .                                   | 88          |
| Звук на войне . . . . .                                | 109         |

## ЧТО ТАКОЕ ЗВУК

Со всех сторон нас окружают разнообразные предметы, и мы не можем никуда двинуться, чтобы не затронуть и не поколебать какой-нибудь из них. Когда мы ходим по полу, доски слегка качаются под нашими ногами. Как бы осторожно мы ни поставили чашку на стол, все же стол и чашка станут слегка колебаться. Звери, пробираясь по лесу, задевают и раскачивают листья и ветви деревьев или же траву; когда же они быстро бегут, — сама земля „дрожит“ под ногами. Часто движения эти очень незначительны, даже незаметны для глаза; тем не менее они существуют.

Кроме видимых предметов нас окружает со всех сторон целое море воздуха, в котором мы живем. Как бы мы ни двинулись, куда бы мы ни двинулись, мы должны его пошевелить; более того, заставляя колебаться какое-либо тело, например: землю, ветви, стол и т. д., мы заставляем вместе с тем колебаться и воздух, так как он касается всех предметов и приходит в движение вместе с ними. Возбудить колебания в воздухе очень легко, и когда такое колебание возникает, то оно распространяется во все стороны, рассеивается, слабеет и, наконец, совсем замирает. Воздух в состоянии одновременно передавать самые разнообразные, идущие в самых различных направлениях колебания. Каждое колебание при этом распространяется так, как если бы других колебаний не существовало. Рассмотрим теперь те опытные данные, на которых основывается это наше утверждение.

При всяком нашем движении возникают колебания, которые происходят в твердых, жидких или газообразных телах или во всех их одновременно. Каждому из нас важно как можно лучше знать, что происходит вокруг него, и поэтому нет ничего удивительного в том, что люди и большин-

ство животных имеют особые органы для улавливания этих колебаний и что эти органы приносят им большую пользу. Наш слух очень чувствителен к малейшим колебаниям, которые, проходя через воздух, поступают в ушную раковину, а затем передаются в очень нежный орган, находящийся внутри уха. Когда мы говорим, что мы слышим звук, то это значит, что где-то произошло колебание воздуха, которое достигло наших ушей. В нашей жизни и в явлениях окружающей нас природы всякое действие сопровождается подобными колебаниями, — мы живем в мире звуков. Мы можем разобраться во всем, что мы слышим, так как все колебания отличны друг от друга и мы научились их распознавать. Мы умеем различать колебания и говорим, что одни из них производят листья своим шелестом, другие — гром, а третьи — рев животного. Мы настолько привыкли различать звуки, что читатель, пожалуй, даже спросит: „да что здесь удивительного и особенного в том, что звуки неодинаковы?“. Но в действительности это разнообразие звуков очень удивительно: каждый раз происходит всего только колебание воздуха, а между тем наши уши, благодаря своему замечательному устройству, отличают одно колебание от другого — голос одного человека от голоса другого, одно слово от другого; они улавливают даже мельчайшие оттенки человеческого голоса, давая нам возможность на основании этих оттенков судить о душевных переживаниях человека. Много людей задумывалось над этими явлениями, и некоторые из них находили их самыми удивительными из всех явлений природы.

Без сомнения, такое тонкое устройство ушей объясняется тем, что сведения, которые мы получаем с помощью их, очень интересны и важны для нас. Иногда эти сведения являются для нас вопросом жизни и смерти. Так, например, для животных, которые охотятся и за которыми охотятся, развитие слуха имеет решающее значение в их борьбе за существование. Умение разговаривать с нашими друзьями, т.-е. умение пользоваться нашими голосовыми связками и распространять по воздуху колебания, которые имели бы для слушателей особое значение, — ведь это чего-нибудь да стоит. Как бы много мы потеряли, если бы, гуляя по полю, мы не слышали ни песен птиц, ни свиста ветра, ни журчанья ручейка, ни ша-

гов прохожего! Подумайте, какое бы это было для нас горе, если бы мы не могли слышать ни пения, ни музыки. Колебания воздуха тесно связывают нас с окружающим миром и с остальными людьми.

В этой первой лекции я хочу показать вам некоторые явления, которые происходят, когда звуковые колебания переходят из одного места в другое. Прежде всего мы повторим опыты Тиндалля, которые были демонстрированы им в этой же комнате пятьдесят лет тому назад. Может быть, вы слышали о том, что Тиндалль был знаменитым лектором Королевского Института. Однажды он прочел ряд лекций о законах звука, сопровождая их очень красивыми опытами. Большинство приборов, которые он тогда употреблял, сохранилось здесь до сих пор, и будет очень интересно снова воспользоваться некоторыми из них.

В самом низу этого здания, на два этажа ниже нашей аудитории, находится музыкальный ящик, издающий сильные звуки. Он теперь играет, но мы не слышим звуков, так как ни одно из тех колебаний, которые он производит в воздухе, в полу и в стенах, не достаточно сильно для того, чтобы дойти до нас. Эти колебания не могут быть переданы через воздух, так как отдельные его части отделены друг от друга потолками и закрытыми дверьми, сквозь которые звуковым колебаниям трудно пройти; они не могут пройти сквозь стены, потому что полу и стенам передаются слишком слабые колебания. Но вот перед вами длинная палка, которая упирается в музыкальный ящик и проходит вверх в эту комнату сквозь отверстия в потолках. Колебания,



Рис. 1. Звуковые колебания музыкального ящика, находящегося в подвальной этажере Королевского Института, не передаются с помощью палки и подноса, который находится в лекционном зале; с подноса колебания передаются в воздух и каждый присутствующий может их слышать.

распространяясь вверх по этой палке и доходя до нас, оказываются достаточно сильными; приложив свое ухо к палке, я вполне хорошо слышу игру музыкального ящика. Вероятно, немногие из моих слушателей, находящиеся в этой аудитории, в состоянии слушать эту игру. Объясняется это тем, что поперечное сечение палки слишком мало, а когда колебания достигнут конца палки, то они не приводят воздух в достаточно сильное движение. Для этого необходима большая поверхность, которой палка передавала бы свои колебания и которая была бы достаточно широка, чтобы привести в колебание воздух на достаточно большой поверхности. Если приложить к концу палки чайный поднос, то всякий легко услышит игру музыкального ящика; для этой цели хороша также и скрипка даже мягкая войлочная шляпа даст нам возможность ясно слышать музыку. Сначала приводят в колебание механизм музыкального ящика — его пружины; эти колебания передаются так называемой „деке“, — звучащей доске, поднимаются вверх по палке и с помощью широкой поверхности скрипки или с помощью других подходящих предметов передаются воздуху в таком количестве, что, несмотря на то, что они рассеиваются в пространстве, они все же настолько сильны, что производят действие на ухо, которого они достигают.

Заметьте, кроме того, что звуки первоначального источника передавы правильно; мы слышим именно те тона, которые производит музыкальный ящик; палка, поднос, скрипка, шляпа служили только для передачи звука и правильно, хотя и с небольшим изменением, воспроизводили его. Применение широких поверхностей для того, чтобы сообщить воздуху достаточное движение, как мы увидим ниже, встречается очень часто. Примером такого применения в нашем опыте служит употребление чайного подноса и скрипки.

Опыт, который мы только что произвели, иллюстрирует прохождение звуков сквозь твердые тела, в данном случае — сквозь палку. Водопроводные трубы в домах часто издают звуки. Часто при открытии крана или при закрытии его в трубах слышно „пение“ или „стук“; звук распространяется по трубам во все комнаты. Всем нам знакомы трагические моменты в рассказах с приключениями, когда герой прикладывает ухо к земле и прислушивается к отзвуку на-

стигающих его лошадей. В „веревочных телефонах“, которые так часто раньше служили игрушкой для детей, звук проходит сквозь туго натянутую веревку. Люди, которые потеряли способность слушать звуки, проходящие через воздух, в состоянии бывают иногда воспринимать музыку следующим образом: они упирают один конец палки в звучащую поверхность музыкального инструмента, а вторым ее концом касаются своих зубов. Звук проходит сквозь кости и таким образом достигает внутренних частей уха, которые при этом, конечно, не должны быть повреждены.

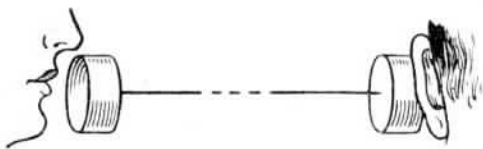


Рис. 2. Веревоочный телефон.

Жидкости передают звуки так же хорошо, как и твердые тела. В некоторых опытах, произведенных во время войны

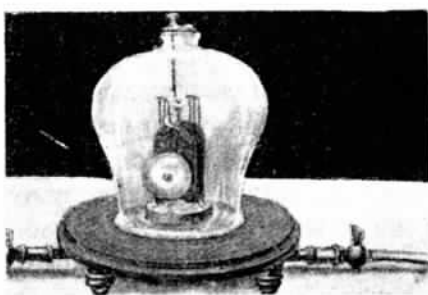


Рис. 3. Колокольчик, звенящий в безвоздушном пространстве. Колокольчик подвешен на очень тонких веревках так, что ни одна его часть не касается подставки. Когда выкачивают из-под колпака воздух, то звук лишается возможности перейти во внешний воздух, и тогда, хотя мы и видим, что колокольчик находится в действии, но звона его мы не слышим.

для морского ведомства, употреблялся подводный „жужжатель“. Он представляет собою небольшую, непроницаемую для воды коробочку; в одну из стенок которой может непрерывно ударять электрический молоточек. Когда я опускаю „жужжатель“ в сосуд с водой и, нажимая электрическую кнопку, привожу его в действие, то в комнате раздается громкий звон. Молоточек вызывает в металлической коробке колебания, и эти колебания распространяются сквозь воду к

стенкам сосуда и дальше в воздух. Таким образом звук часть своего пути прошел в воде.

Теперь мы хотим показать, каким образом звук проходит сквозь воздух, и для этого мы используем другой знаменитый опыт Тиндалля. Под этим колпаком находится механиче-

ский колокольчик, который можно заставить звенеть. Колокольчик подвешен на упругих нитях, которые очень плохо передают звуки, и потому звон, доходящий до наших ушей, должен пройти сквозь воздух, находящийся под колоколом. Колебания колокольчика заставляют колебаться воздух и, распространяясь дальше, приводят в движение стеклянную стенку колпака. Стекло, в свою очередь, заставляют колебаться внешний воздух, и эти колебания достигают наших ушей. Колокольчик и колпак поставлены на шлифованное толстое стекло и края колпака тщательно притерты и смазаны жиром. В середине стекла находится отверстие, которое соединяет пространство под колпаком с воздушным насосом. Начнем теперь работать насосом и станем постепенно выкачивать воздух из-под колпака. Когда там останется очень мало воздуха, вы заметите, что колокольчик начнет звенеть гораздо слабее. Наконец, после того как мы выкачаем из-под колпака последние остатки воздуха, звуки совершенно замрут. Это показывает, что для распространения звука необходим воздух. Когда мы снова впустим воздух под колпак, мы начнем попрежнему слышать звуки.

Мы видели, что звуки проходят сквозь твердые тела, — как, например, сквозь палку, упирающуюся в музыкальный ящик в нижнем этаже, — сквозь воду в сосуде, сквозь воздух в комнате, и мы также заметили, что когда звучащее тело не прикасается ни к твердому, ни к жидкому, ни к газообразному телу, то звук вовсе не передается. Звук не может проходить сквозь безвоздушное пространство. Между нами и солнцем находится пространство, где гораздо меньше газов и других веществ, чем под колпаком, с которым мы только что имели дело. Ни один звук не в состоянии пройти сквозь это пространство. Но свет, проходит сквозь него очень легко. Свет и наши глаза, которые его воспринимают, имеют дело со всем миром, область же распространения звука ограничена только земным шаром.

После того как вы усвоили, что звук представляет собой колебательное движение, распространяющееся от одного места к другому, вы легко догадаетесь, что для этого распространения необходимо время, и ваша догадка будет совершенно правильна. Например, когда звук распространяется по воздуху, то, чтобы пройти один километр, он должен

затратить около трех секунд. При этом очень замечателен тот факт, что самые разнообразные звуки, начиная от пронзительного свистка и кончая глухим рычанием, распространяются с одной и той же скоростью. Если играющий оркестр находится от вас на большом расстоянии, то вы при этом воспринимаете правильную гармонию всех звуков, как пиколо, так корнета и барабана, и эта гармония не нарушается, на какое бы расстояние от оркестра вы ни отошли. Если бы некоторые из звуков распространялись скорее, чем другие, то вы могли бы слушать музыку только на небольшом расстоянии. Примеры, подтверждающие тот факт, что для распространения звука необходимо время, встречаются очень часто. Так, если вы наблюдаете, как поезд приближается к станции, будучи на расстоянии двух-трех километров от вас, вы замечаете, как показывается белое облачко, выходящее из свистка, — это машинист предупреждает о своем прибытии; свет распространяется так скоро, что вы фактически видите это облачко в тот момент, когда машинист открывает свисток. Но пройдет еще несколько секунд, раньше чем вы услышите свист. Я часто следил за работой дровосеков в Австралии, где воздух настолько чист и прозрачен, что он дает возможность видеть и слушать на большом расстоянии. Находясь на одной стороне широкого оврага, я видел, как топор ударялся о дерево вдали от меня на другой стороне оврага; но звук этого удара доходил до моих ушей лишь после того, как рабочие выпрямлялись и были уже готовы ко второму удару. Если вы наблюдаете за длинной процессией, идущей по улице с оркестром впереди, то вы замечаете, что все ее участники стараются идти под ритм звука. Но в действительности задних рядов звук достигает позже, чем передних, и участники процессии маршируют не в ногу. Если вы внимательно присмотритесь к такой процессии, то вы увидите, что вдоль рядов пробегает зыбь, так как головы слегка опускаются и поднимаются при движении ног.

В различных веществах звуки распространяются с различной скоростью. Например, в железе звук распространяется в пятнадцать раз скорее, чем в воздухе. Вы можете убедиться в этом на опыте в парке или где-нибудь в другом месте, где вы будете иметь железную решетку. Если вы прило-

жите свое ухо к решетке и заставьте вашего знакомого ударять об нее на расстоянии ста или больше метров, то вы услышите звук дважды; сначала он пройдет сквозь железо, а потом сквозь воздух. В воде звуки распространяются почти в четыре раза скорее, чем в воздухе. Как мы увидим дальше, во время войны было необходимо очень точно измерить скорость распространения звука в воде. В воздухе звук распространяется со скоростью 330 м в секунду.

Когда пульсации воздуха отходят все дальше и дальше от своего источника, они растекаются по все большим и большим поверхностям и становятся все слабее и слабее. Чем дальше от источника звука до слушателя, тем слабее доходящий до него звук. Но при желании мы можем воспрепятствовать рассеиванию звука по большой поверхности, и тогда он будет распространяться гораздо дальше. Это, например, происходит, когда мы употребляем трубки для разговоров, которые передают пульсации звука, на большие расстояния, очень мало ослабляя. Стенки трубок должны быть внутри гладкими; в противном случае трение воздуха, движущегося взад и вперед, будет искажать проходящие через него волны, так как это трение вызывает в нем небольшие вихри, ослабляющие энергию. Более того, в трубке не должно быть ни острых ни прямых углов, так как часть звука у этих углов отражается и идет назад. Человек, употребляя рупор, также препятствует рассеиванию звуков во все стороны, так как рупор направляет звуки в сторону, желательную для оратора. Правда, действие рупора зависит в очень большой степени от напряжения голосовых связок оратора. Говорить в рупор очень трудно, в чем вы легко можете убедиться. Твердые стенки рупора не дают возможности звуковым волнам легко рассеиваться в стороны и в известном смысле помогают нашим голосовым связкам.

Когда звук распространяется без искусственного ограждения, например, рупора или чего-либо в этом роде, то он доходит до тех или иных препятствий. Явления, которые происходят когда звук встречает препятствие, имеют очень большое значение. Я полагаю, что вам будет гораздо легче понять это и многое связанное с этим вопросом о распространении звуковых волн, если мы сопоставим их с аналогичными случаями на поверхности воды. Если вы

будете наблюдать за тем, что происходит с волнами в различных случаях, вы сумеете очень хорошо разобраться в том, что происходит при распространении звука.

Здесь перед вами сосуд с водой для подобных опытов. Он представляет собой плоскую лохань площадью почти в квадратный метр с гладким стеклянным дном, наполненную тонким слоем воды глубиной миллиметров в пять. Под ним, на полу, находится открытая дуговая лампа. Свет от нее проходит сквозь сосуд и падает на наклонное зеркало<sup>1</sup>,

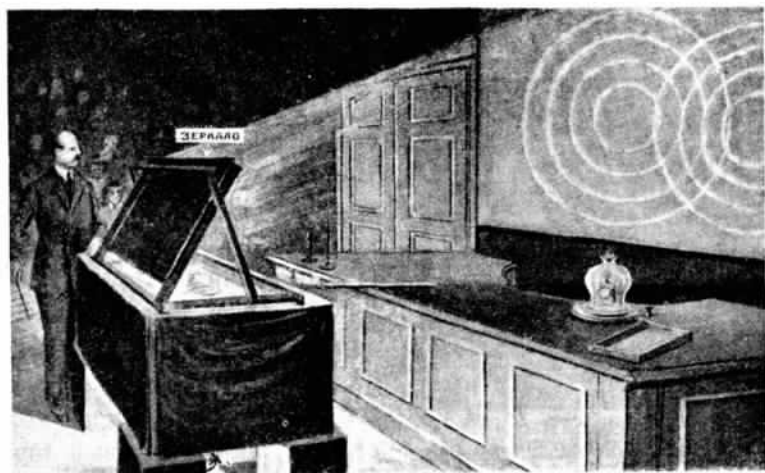


Рис. 4. Сосуд с водой, по которой проходят волны.

которое отражает его на стенку. Волны, происходящие на поверхности воды, изображаются на экране в виде светлых и темных полос. Если я коснусь воды своим пальцем, то по ней распространятся волновые круги, подобные кругам, которые можно часто видеть, когда бросают камень в пруд. При увеличении кругов, волны ослабевают, подобно тому как иссякает энергия звука при удалении его от источника. Впрочем, сила звука ослабевает даже скорее, чем волны на поверхности воды. Если я коснусь воды одновременно в двух местах, то возникнут два ряда волн, пересекающиеся друг с другом. Заметьте, что каждый из этих рядов идет своей собственной дорогой так, как если бы другого ряда вовсе

<sup>1</sup> Если имеется плоский потолок, на котором слушатели могли бы без труда наблюдать за движениями волн, то необходимость в зеркале отпадает.

не существовало. Возможно, что вы замечали это явление также на поверхности озера или моря. Это свойство волн имеет для нас очень большое значение, так как благодаря ему по воздуху может одновременно распространяться много звуков. Это явление в действительности гораздо более замечательно, чем оно может показаться с первого взгляда. Предположим, что при распространении одного звука сквозь некоторое воздушное пространство ни один другой звук не мог бы в то же время пройти сквозь это пространство, или предположим, что два или несколько звуков, пытаясь пройти через одно и то же пространство и в одно и то же время,

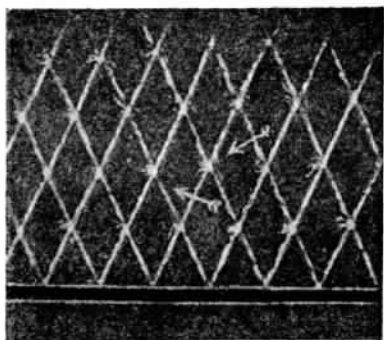


Рис. 5. Узор, напоминающий игру солнца в ялмаше, который образуют волны, подходя к краю сосуда и отражаясь там.

оказывали бы некоторое влияние друг на друга. Представьте себе, что за вавилонское столпотворение шумов и звуков было бы тогда! Ни одно ухо не могло бы его выдержать. Поэтому для нас очень важен и интересен тот факт, что какое бы количество звуков ни наполняло воздушное пространство, сквозь него может пройти также и новый звук и притом так же легко, как если бы других звуков не существовало. Это, конечно, во-

все не значит, что наше ухо, воспринимая одновременно различные звуки, оказывается настолько же чувствительным к каждому новому звуку, как если бы этот звук происходил при полной тишине.

Обратим теперь наше внимание на то обстоятельство, что волны отражаются у стенок нашего сосуда. Иногда мы можем наблюдать отражение волн у берега моря или озера, или же в ванне, но в нашем сосуде это явление происходит регулярнее. Если я буду возбуждать целый ряд волн одну за другой, с постоянными интервалами, то отраженные и первоначальные волны, действуя друг на друга, покроют всю воду узором, напоминающим игру света в алмазе. Движения этих волн очень интересно проследить на экране. Первоначальные и отраженные волны наклонены, как вы ви-

дите, к отражающей поверхности все одинаково. Это является опытным подтверждением очень важного закона акустики и всех других областей физики, имеющих дело с волнами. Волны, ударяясь о гладкую поверхность, отбрасываются назад таким образом, что новые линии волн образуют с отражающей поверхностью точно такие же углы, как и старые. Благодаря именно этому свойству обыкновенного зеркала мы позади зеркала видим „изображение“ тех предметов, которые в действительности находятся впереди него. Световые волны, идущие спереди, от источника к зеркалу, отбрасываются им назад и кажутся нам выходящими из точки расположенной по другую сторону зеркала. То же происходит и с звуковыми волнами, когда мы говорим, что мы слышим эхо. При этом, когда отражающая поверхность находится достаточно далеко, эхо доходит до нас несколько времени спустя после того, как мы издали первоначальный звук, и мы его слышим отдельно и отчетливо.



Рис. 6. Волны и их отражения у стенки сосуда. Отраженные волны кажутся распространяющимися извне из точки, находящейся по ту сторону стенки. Точка *I* называется „изображением“ источника колебаний.

Другой очень красивый способ, с помощью которого можно наблюдать отражение волн в сосуде, состоит в следующем: в сосуд кладут деревянный квадрат, содержащий небольшой вырез; если мы станем дергать деревянный квадрат, то волны станут распространяться взад и вперед из одной стороны в другую и произведут на экране очень красивый узор.

Оставляя квадрат в покое и касаясь воды в некоторой точке внутри его, мы вызовем круглые волны, которые будут отражаться от его сторон. Заметьте, что отраженные волны также представляют собою круги, при чем центры первоначальной и отраженной волн находятся на одинаковом расстоянии от отражающей поверхности, но по разные ее стороны: центр первоначальной волны находится впереди этой поверхности, а отраженной — позади нее. Этот центр представляет собою „изображение“ действительного источника и на нашем рисунке обозначен буквою *I*.

Кривая поверхность имеет некоторые особые свойства. Здесь перед вами кусок латуни, выгнутый в форме параболы. Я начинаю направлять ряд волн на вогнутую поверхность этой параболы. Проследите за ними, и вы увидите, как эти

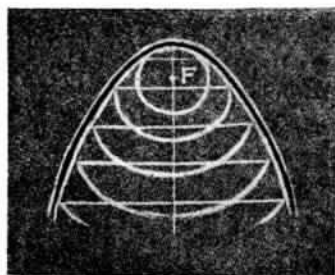


Рис. 7. Отражения волн в параболическом зеркале.

волны постепенно обращаются в круговые волны и подходят к своему центру; точка, в которой они сходятся, называется фокусом параболы. Если я погружу палец в воду в фокусе, то произойдет как раз обратный процесс: от этой точки будут распространяться круговые волны и после отражения от параболической поверхности станут плоскими. Вы знаете, что велосипедные и автомобиль-

ные фонари снабжаются параболическими рефлекторами и что горелка помещается в их фокусе; благодаря этому свет выходит из них в виде прямого пучка и не рассеивается по сторонам. С помощью подобных кривых поверхностей мы можем сосредоточить волны в определенных точках. Так, в некоторых больших рефлекторных телескопах параболические зеркала собирают свет звезды и сосредоточивают его в поле зрения наблюдателя, который рассматривает звезду в окуляр.

Здесь перед вами деревянный брусок, напоминающий собою грабли; из него торчит целый ряд гвоздей. Если поместить этот ряд гвоздей в воду вместо квадрата, которым я раньше пользовался для отражения волн, то вы увидите,

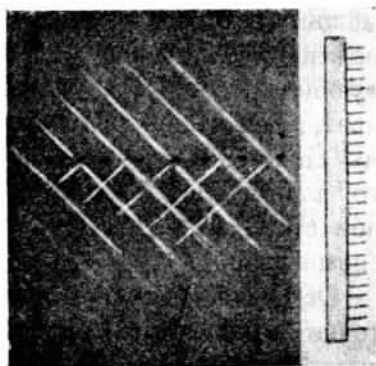


Рис. 8. Ряд гвоздей, слабо отражающий волны.

что большая часть энергии волн пройдет между гвоздями, но ясно, что часть этой энергии отразится от них. Для звуковых волн в этом случае имеет место очень интересная аналогия: звуки отражаются не только от гладких сплошных

поверхностей, но также и от ряда железных решеток и от древесной листвы. Так, если вы едете на автомобиле, то вы часто слышите звуки, отраженные от заборов и плетней, мимо которых вы проезжаете. Если длинный ряд заборов находится только с одной стороны дороги, то при этом получается гораздо меньший шум, чем в том случае, когда заборы тесно окружают вас со всех сторон. Но когда вы проезжаете, положим, мимо крутых берегов и встречаете по дороге железнодорожный мост или ряд заборов, то при этом происходит внезапное изменение в природе звука. Если вы

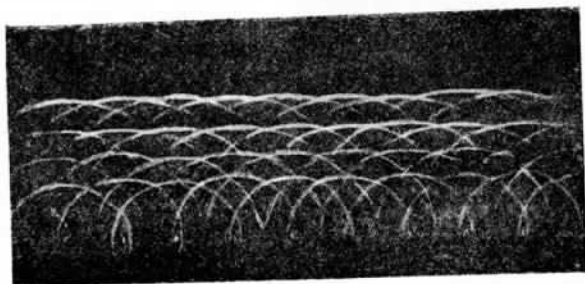


Рис. 9. Когда ряд гвоздей сразу погружают в воду, то образуется ряд круговых волн, которые соединяются в конце концов в прямую, движущуюся вперед волну.

проезжаете мимо ряда столбов, то вы можете заметить, что каждый из них посылает отдельное слабое отражение, так что до ваших ушей доходит правильная последовательность шепотов<sup>1</sup>.

Если мы погрузим одновременно все гвозди в воду, то от каждого гвоздя будут исходить круговые волны, которые в дальнейшем окончательно соединятся в ряд прямых волн. Когда вы будете основательнее изучать оптику, то вы увидите, что этот красивый опыт иллюстрирует то, что называется принципом Гюйгенса.

Оставим наш сосуд с водой и попробуем проследить за ходом звуковых волн другими способами. Но прежде чем перейти к этим новым способам, мы сделаем еще последний опыт с нашим сосудом, который пояснит нам дальнейшее. Заметьте, что когда ряд волн наталкивается на конец пре-

<sup>1</sup> „Шепоты“ по большей части состоят из высокочастотных звуков, т. е. таких звуков, которые этим способом отражаются.

пятствия, то волны начинают расходиться вокруг этого конца. Положим два деревянных бруска один против другого так, чтобы между ними остался небольшой промежуток и, вызвав волны, направим их к отверстию между брусками. Часть

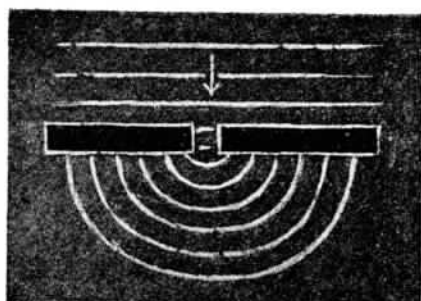


Рис. 10. Волны, проходящие сквозь промежуток между двумя брусками и расходящиеся дальше в виде полу-кругов.

я расширю отверстие между бревнами и заставлю ряды волн быстро следовать друг за другом так, что расстояние между волнами будет гораздо меньше, чем отверстие между бревнами, то тогда сквозь сосуд пройдет поток волн, который не будет рассеиваться ни направо ни налево, как это происходило в предыдущем опыте. Стены при этом бросают как бы некоторую неопределенную тень. Так, например, когда дует легкий ветер и гонит впереди себя волны, то при входе в гавань образуется струя ряби.

Такие же точно явления происходят при распространении звука. Длинные звуковые волны, которые, как мы увидим дальше, дают низкие ноты, легко огибают углы, но при распространении очень коротких волн, т.е. очень высоких звуков, даже обычные предметы отбрасывают тень.

волн, пройдя через это отверстие, развернется в виде полукругов, которые заполнят все пространство позади брусков. Точно так же большая волна океана, проходя сквозь проход в гавань, распространяется в ней во все стороны в виде небольшой зыби. Это получается всегда, когда длина волны и отверстие равны между собой или когда они одного и того же порядка величины. Но если

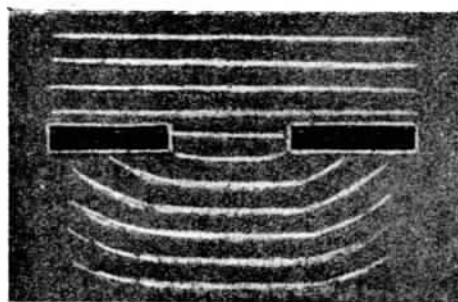


Рис. 11. Когда промежуток между брусками достаточно широк, то отбрасываемые ими тели становятся более заметными.

В ближайшем ряде опытов мы будем пользоваться самими звуковыми волнами. Но при этом мы не можем достаточно хорошо использовать обычные звуки. Расстояние между последовательными волнами в таких звуках, которые издает наш голос, органная трубка или камертон, измеряется одним или несколькими метрами. Если мы попробуем загородить препятствиями путь этим звукам или повернуть их с помощью отражающих поверхностей, то они вряд ли будут нам подчиняться: волны будут обходить препятствия, размеры которых почти равны расстояниям между волнами; все будет происходить точно так же, как это имело место в сосуде с водой. Если мы хотим иметь дело с самими звуковыми волнами, то мы должны употреблять волны, которые соответствуют очень высоким звукам.

Тот факт, что звуковые волны обходят препятствия, представляя не малые затруднения при изучении природы звука. Вопрос о том, как заставить звуковые волны отражаться, а не обходить препятствия, является очень старым вопросом, одним из величайших вопросов физики, которым занимался еще сам Ньютон. Он находил предположение, что свет состоит из особого рода волн, слишком рискованным, так как если бы это было так — рассуждал он — то эти волны могли бы обходить концы препятствий, и мы были бы в состоянии видеть, что творится за углом, подобно тому как мы это в состоянии слышать. Но свет, находящийся по одну сторону экрана, невозможно видеть с другой его стороны, между тем как расслышать голос человека с другой стороны экрана можно. Объяснение этого кажущегося противоречия состоит в том, что длина звуковых волн измеряется метрами, между тем как длина световых волн измеряется миллионными долями сантиметра. Поэтому световые тени резки и определены, тогда как звуковые тени обычно бывают неопределенными и смутными.

Если мы хотим произвести в этой комнате опыты с звуковыми лучами, то мы должны воспользоваться очень высокими звуками, и чем выше будет звук, тем это будет лучше, так как чем выше звук, тем короче соответствующая ему волна. Поэтому мы будем пользоваться свистком, издающим столь высокие звуки, что, возможно, они будут недоступными для большинства слушателей моей аудитории: они их просто

не смогут расслышать. Но здесь перед вами находится так называемое чувствительное пламя. Светильный газ под большим давлением (200 — 250 мм водяного столба) вгоняется в узкую трубку, откуда он выходит в воздух через круглую насадку с очень маленьким отверстием и горит высоким тонким пламенем.

Если давление на газ несколько увеличить, то он, торопясь выйти, собьется в небольшие вихри, смешается с воздухом и будет гореть голубым шипящим пламенем.

Но этот эффект получается не только при слишком сильном давлении. То же самое производит и очень высокий

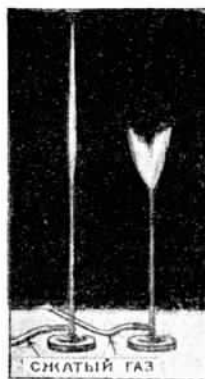


Рис. 12. Чувствительное пламя.

звук. Повидимому, подобный звук мешает гладкому ровному выходу пламени как раз в тот самый момент, когда газ выходит из насадки, так что и в этом случае газ выходит шипя и смешиваясь с воздухом и дает яркое синее пламя. Здесь перед вами свистки, которые издают такие высокие звуки, что их трудно расслышать. Как вы видите, эти звуки действуют на пламя даже тогда, когда я отхожу от него в самый дальний угол: стоит мне только легко дунуть в свисток, как при каждом таком дуновении пламя заметным образом опускается. Если кто-нибудь в этой комнате будет звенеть моне-

тами или греметь ключами, то пламя тотчас же ответит на каждый такой звук: каждый раз пламя будет принимать вид буквы „S“. Все эти звуки свойственны высоким нотам. Здесь перед вами пламя, которое чувствительно только к некоторым звукам, именно к тем, которые нам нужны. Тиндалль очень широко использовал это пламя, и, как я полагаю, некоторые из приборов, которые находятся перед вами на столе, остались от него: это те самые, которые он описывал в своей книге „Звук“.

Специальный свисток, издающий особенно высокие ноты, так называемый „птичий голос“, был ему неизвестен. Но покойный лорд Релей (Rayleigh) впоследствии применял его очень часто. Он состоит из двух кусков тонкого металла — латуни или жести — с поперечником в 1 см. Эти

куски расположены параллельно друг другу, а расстояние между ними равно двум-трем миллиметрам. В них просверлены два очень узкие отверстия — около половины миллиметра в диаметре, — находящиеся в точности одно против другого. Все это припаяно к концу латунной трубки, и в эту трубку непрерывно вдувается сильная струя воздуха, которая и производит звук. Размеры этого свистка могут быть вариированы в очень значительной степени. Чем меньше свисток и чем уже отверстие, тем более высокие получаются звуки.

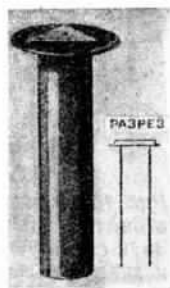


Рис. 13. „Птичий голос“. Диаметр трубки равен 1 см.

С помощью специального прибора, устроенного Тиндаллем и состоящего из двух совместно вращающихся труб, очень легко показать отражение звука. Волны проходят сквозь одну трубу, и если на их пути поставить отражающую плоскость, то они отбрасываются в другую трубу и заставляют пламя гореть ярким блеском. Вы можете заметить, что доска, или стекло, или лист бумаги, — все это может отражать звуки. Кусок холста не отражает звуков до тех пор, пока его не смачивают; будучи же смоченным, он становится очень хорошим отражателем.

В этих опытах, оперируя со звуковыми волнами точно так же, как мы раньше оперировали с волнами в сосуде, мы заставляли их отражаться от гладких поверхностей.

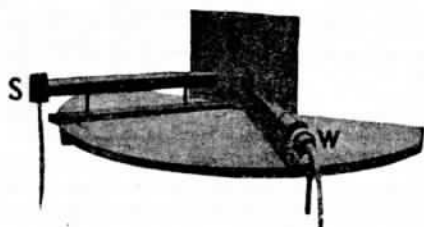


Рис. 14. Прибор Тиндалля для изучения отражений звука. *W* — свисток, издающий высокочастотные звуки; *R* — отражающая поверхность; *S* — чувствительное пламя.

Есть еще и другой способ, с помощью которого можно легко показать отражение волн от гладкой поверхности. Прежде всего рассмотрим любопытное свойство описанного Релеем чувствительного пламени, — свойство, которое он на-

шел очень полезным. Это специальное пламя чувствительно не в одинаковой степени к звукам, распространяющимся в различных направлениях; оно совершенно не реагирует, когда свисток находится в положении *A*, и очень чувстви-

тельно, когда я его поворачиваю в положение В. Эта особенность объясняется, вероятно, некоторыми неправильностями в форме насадки. Поместим свисток в первое из этих положений; таким образом пламя теперь не отвечает



Рис. 15. Схема расположения приборов в опыте с отражающей поверхностью. Звук свистка *W* отражается зеркалом *М* и действует на чувствительное пламя. Пламя это расположено так, что оно чувствительно к звукам, распространяющимся в том направлении, в котором находится зеркало, но нечувствительно к звукам, исходящим непосредственно из точки *W*.

на звуки „птичьего голоса“.

Но когда я поставлю зеркало в положение, указанное на рисунке, то пламя тотчас же ответит на эти звуки, так как зеркало отражает звуковые лучи, и эти лучи падают на пламя.

Еще более удивителен опыт, который можно показать с вогнутым зеркалом. Здесь перед вами вогнутое зеркало, которое употребляется для отражения света и

сосредоточивания его в одной точке. Мы будем употреблять его для того, чтобы собирать в одну точку одновременно и свет и звук. Мы поставим электрическую лампу как раз над „птичьим голосом“ и вставим кусок бумаги как раз под

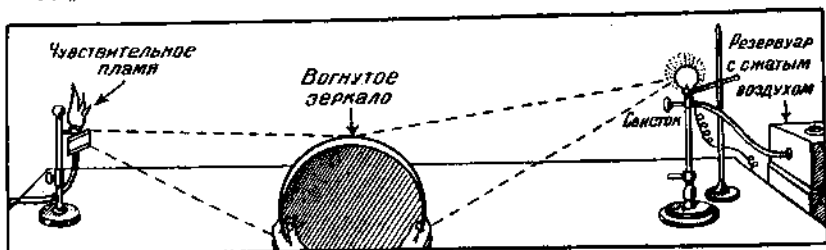


Рис. 16. Отражения звука вогнутым зеркалом. Зеркало отражает и сосредоточивает свет лампы (находящейся над „птичьим голосом“) на куске белой бумаги и в то же время отражает и сосредоточивает звуки „птичьего голоса“ на чувствительном пламени.

чувствительным пламенем. Я нахожусь на большом расстоянии как от „птичьего голоса“, так и от пламени, которое я потом установлю таким образом, что оно будет нечувствительно к непосредственному действию свистка; зеркало я буду держать так, чтобы оно собирало пучок лучей, исходящий от лампы, и сосредоточивало его на бумаге. Когда это сделано, то звуковые волны „птичьего голоса“ будут сосредото-

точены как раз в том месте насадки, откуда выходит светильный газ. Это место, как я уже говорил, чувствительно, и поэтому пламя, как вы видите, горит ярким светом и шипит. Малейшее смещение зеркала вверх или вниз, направо или налево — и свет не падает уже больше на бумагу, а пламя поднимается вверх и становится опять беззвучным.

Есть еще один опыт, который я хочу показать. Его несколько трудно понять, но он очень красив и его очень часто производят. Этот опыт был впервые произведен лордом Релеем. Я поворачиваю пламя таким образом, чтобы оно совершенно не реагировало на звуки „птичьего голоса“, и ставлю вслед затем зеркало так, что звуки „птичьего голоса“ проходят мимо пламени и отражаются стеклом по направлению, перпендикулярному его поверхности. При этом образуются два ряда волн, которые пробегают через пламя в противоположных направлениях. В соединении они дают то, что носит название „стоячих волн“, которые поднимаются и опускаются, не продвигаясь вперед. Такие волны можно иногда наблюдать на море, когда шквал, катясь, ударяется о вертикальную скалу и отскакивает затем назад. В стоячих волнах находятся на равном расстоянии друг от друга места, в которых вода совершенно не колеблется, а между этими местами вода попеременно то поднимается то опускается. Подобно этому в том случае, когда звуковые волны и их отражения проходят в противоположные стороны через одну и ту же часть воздуха, существуют места, в которых воздух совершенно неподвижен. Такие места называются „узлами“. Между ними воздух находится в движении и перемещается то назад то вперед. При некоторых положениях плоского зеркала пламя находится в одной из тех линий, где совершенно нет движения; в этом случае оно совершенно беззвучно. Но стоит только рефлектор несколько придвинуть к пламени или отодвинуть от него, как последнее начинает шипеть. Если двигать рефлектор непрерывно, то пламя будет поочередно то затихать то шипеть; легко насчитать сорок-пятьдесят таких перемен. Таким образом можно измерить длину волны.

Когда звук распространяется по воздуху, по воде и в твердом теле, то он слабеет, потому что он рассеивается. Но есть и другая причина, вследствие которой он слабеет,

и эта причина в некоторых случаях имеет очень большое влияние. Когда звук проходит через какое-нибудь тело, то он теряет часть своей энергии, и мы говорим в этом случае о „поглощении (абсорбции) звука“, о „поглощающих звук веществах“ и т. п. Телефонные будки часто покрыты войлоком, или пробковыми опилками, или каким-нибудь веществом, состоящим из многих небольших крупинок или волосков, между которыми находятся частицы воздуха. Есть очень удобный способ изучать подобные вещества, которыми мы можем легко воспользоваться. Здесь перед вами находится камертон; я привел его в колебание, но вы не слышите звуков до тех пор, пока я его не поставил на соответствующий ящик. Теперь звук раздается громко. Будем вставлять различные материалы между камертоном и ящиком и посмотрим, как сквозь них будет проходить звук. Сквозь дерево, металлы и т. п. твердые вещества звук проходит очень хорошо. Даже пробка и кусок резины хорошо передают звуки. Клубок шерсти не прерывает совершенно звука, если крепко прижать к нему камертон. Кусок сала, которым смазывают колеса, передает звук вполне ясно. Одним из лучших изоляторов звука является пневматическая подушка, и этим объясняется, почему ее так удобно класть под изголовье, когда спят в поезде; точно так же, когда нужно перенести какой-нибудь прибор, изолируя его при этом от колебания, употребляют пневматическую шину.

---

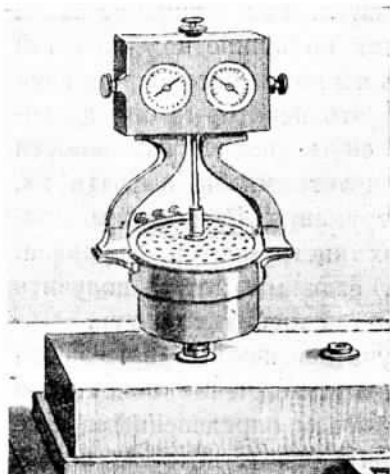
## ЗВУК В МУЗЫКЕ

Мы до сих пор говорили о звуке, как о способе связи и как о чем-то, что сопровождает большинство движений и дает нам сведения о них. Теперь мы хотим рассмотреть звук с другой точки зрения. Известно, что некоторые определенные звуки и некоторые определенные последовательности звуков нам очень нравятся. Для того чтобы вызвать их, мы устраиваем музыкальные инструменты. Рассмотрим простейшие правила устройства этих инструментов,— правила, которым мы должны следовать, если мы хотим получить мелодии и гармонии, которые мы так любим слушать.

Первым делом нам нужно научиться, как вызывать звуки, которые бы оставались неизменными в течение некоторого времени,— звуки, которые мы называем определенными „тонами“. Может быть, один из первых тонов, которые когда-либо слышал человек, был пронзительный звук спущенной тетивы. Эта тетива была, вероятно, первым струнным инструментом. Спросим себя, в чем состоит разница между постоянным тоном и шумом, подобным тому, который происходит, когда угольщик опоражнивает свой мешок на мостовую. Из первого звука можно получить музыку, со вторым звуком нельзя в этом смысле ничего сделать. Я постараюсь пояснить эту разницу следующим образом. Если я стану махать рукой по направлению к вам, то в воздухе начнут с очень большой скоростью (со скоростью трехсот тридцати метров в секунду, как уже мы указывали выше) распространяться пульсации; эти пульсации не произведут на наши уши никакого действия. Наши уши не в состоянии уловить отдельные пульсации, подобные тем, о которых я только что говорил. Как бы быстро я ни махал своей рукой, звука все же не получится. Но если бы я мог производить рукой пятьдесят колебаний в секунду, то ваши уши уловили бы звук, похожий на глухое рычание: для того чтобы уши могли

уловить пульсации воздуха, эти пульсации должны следовать достаточно быстро друг за другом.

Так как я сам не в состоянии делать такие быстрые движения, то я должен прибегнуть для выполнения опытов к механическому способу. Вместо того чтобы посылать пульсации по направлению к вам, размахивая рукой, я произведу сотрясение воздуха внезапным открытием отверстия, за кото-



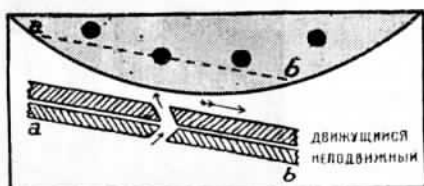
*Рис. 17.* На этом рисунке изображена сирена с вращающимися дисками и счетчиком. Сирена установлена на резервуаре с сжатым воздухом. В диске имеется четыре ряда дырочек, каждый из которых можно привести в действие нажатием соответствующей кнопки.

рым находится сжатый воздух, готовый устремиться в образовавшийся проход. Прибор, которым я хочу воспользоваться, называется сиреной. Он представляет собой цилиндрическую коробку, в крышке которой проделаны небольшие отверстия, служащие для выхода воздуха. Эта коробка сообщается с мехами органа. Над крышкой помещается металлический диск, который, как вы видите, может свободно вращаться. В диске также просверлены отверстия, и когда отверстия верхнего диска находятся как раз над отверстиями крышки, воздух прорывается через все эти отверстия и производит одну из тех пульсаций, которые потом со-

единяются и дают звук. Когда диск вращается, то отверстия попеременно то открываются то закрываются, при чем все они действуют совместно и посылают в воздух ряд пульсаций, которые повторяются с определенной последовательностью. Когда диск вращается медленно, вы слышите, как происходят отдельные порывы воздуха. Каждый порыв сопровождается слабым свистком, подобным тому, который происходит всегда, когда выпускают сжатый воздух, и поэтому вы что-то слышите, когда происходят отдельные порывы. Но по отношению к главным толчкам, которые получает воздух, наши уши совершенно нечувствительны. Если

я оставляю диск в покое, дав ему небольшой толчок, и сожму воздух большим давлением, то скорость диска станет быстро возрастать. Это происходит потому, что небольшие дырочки вырезаны наклонно (рис. 18) и притом таким образом, что выходящий воздух заставляет верхний диск вращаться. Очень важно теперь отметить, что когда скорость диска становится достаточно большой, то до нас начинают доноситься очень высокие звуки. По мере того как скорость вращения диска увеличивается, звуки становятся все выше и выше и, наконец, превращаются в пронзительный визг.

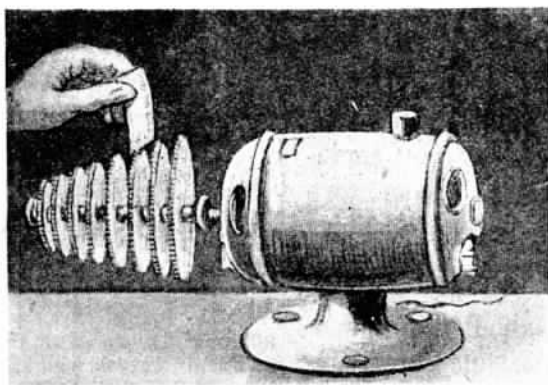
Мы слышим при этом звук определенной высоты, и это происходит потому, что последовательные порывы все похожи друг на друга, и потому что эти порывы следуют друг за другом достаточно быстро. Кроме того мы нашли, что чем быстрее эти порывы следуют друг за другом, тем выше появляются звуки. В этом и состоит вся разница между шумом и музыкальным звуком определенной высоты — тоном. Мы нашли, что каким бы



способом мы ни производили пульсаций, если только их число достаточно велико и если они регулярно следуют друг за другом, то мы их воспринимаем как звуки определенной высоты. Высота этих звуков зависит от того, сколько пульсаций происходит в секунду. Если я устрою так, чтобы эти пульсации повторялись по двести раз в секунду, то я буду всегда получать определенный тон, соответствующий этой частоте, и этот тон не будет зависеть от того, каким способом я вызвал пульсации; обратно — если мы слышим звук, имеющий этот тон, то отсюда мы можем заключить, что какое-то тело совершает двести колебаний в секунду. Сирена дает этот звук, когда она вращается с такой скоростью, что каждую секунду происходит двести воздушных порывов.

Здесь перед вами (рис. 19) ряд зубчатых колес, которые приводятся во вращение электрическим мотором. Я держу тонкий кусок картона над колесами таким образом, что картон

ударяется непрерывно о каждый зубец. При каждом таком ударе он производит небольшое сотрясение в воздухе, которое распространяется дальше в виде пульсаций. Если колесо вращается достаточно быстро, то последовательность этих пульсаций производит звук, имеющий определенный тон, при чем этот тон тем выше, чем быстрее вращается колесо. Когда в секунду ударяется о картон двести зубцов, то получается тот звук, о котором мы говорили раньше. На оси электромотора находятся восемь колес, имеющих различное



*Рис. 19.* Электромотор и быстро вращающиеся зазубренные колеса. Количества зубцов на колесах относятся друг к другу так, что кусок картона, когда его заставляют ударяться о зубцы всех колес последовательно, издает тона, образующие музыкальную гамму.

количество зубцов, а именно: 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48. Заметим, кстати, что когда эти колеса последовательно касаются нашего картона, то мы получаем все тоны обыкновенной музыкальной гаммы. Это происходит независимо от того, с какой скоростью вращается мотор. Колесо, имеющее 48 зубцов, постоянно дает звук на одну октаву выше колеса, имеющего 24 зубца; ясно, таким образом, что октава соответствует отношению  $2 : 1$ . Колеса, имеющие 36 и 24 зубца, находятся на расстоянии квинты. Таким образом отношение  $3 : 2$  соответствует интервалу квинты. Этим способом мы найдем, что все музыкальные интервалы соответствуют определенным численным отношениям.

Когда два колеса сцеплены друг с другом, как, например, в передаточной коробке автомобиля, то каждый раз, когда

зубец одного колеса входит и выходит из другого колеса, происходит очень слабый удар, который распространяется в виде колебания по всем металлическим частям автомобиля и переходит в воздух в виде пульсации. Чем лучше сделаны колеса, тем меньше шума они производят. Но при езде всегда слышен слабый гул, и шофер инстинктивно прислушивается к нему, так как этот гул указывает, едет ли автомобиль равномерно или он меняет свою скорость. Высота этого гула указывает, сколько зубцов ударяет друг о друга в секунду. Когда автомобиль с шинами, обитыми гвоздями, проезжает по деревянной или асфальтовой мостовой, то часто слышен пронзительный скрип, который происходит от ударов головок гвоздей о мостовую; высота этого скрипа указывает на то, сколько ударов происходит в секунду. Здесь перед вами кусок шелкового репса. Если я проведу по нем своим ногтем, то ноготь, скользя по шелку, будет каждый раз попадать в углубление между двумя нитями основы и будет вызывать небольшие пульсации, которые происходят несколько сот раз в секунду и будут вызывать пронзительный звук. Я не могу получить того же с помощью мягкого сукна, так как отдельные небольшие подъемы и опускание ногтя происходят достаточно резко и сильно только между твердыми нитями шелкового репса. Если тереть друг о друга два куска шелка, то получаются слабые скрипящие звуки.

Мы также получаем звук определенной высоты, когда проводим пальцем по переплету книги, если только на переплете находится правильная последовательность возвышений и углублений; но если в материале переплета эти углубления чередуются неправильно, то мы получаем только „шум“, в котором мы не в состоянии отличить музыкальных тонов. Когда мы разрываем кусок коленкора, то правильная последовательность разрывов нитей вызывает в воздухе, благодаря толчкам, которые он получает от материала и от руки, соответствующую последовательность пульсаций. При этом раздается звук определенной высоты, и он оказывается тем выше, чем скорее мы разрываем коленкор.

Чувствительность к высоким тонам вообще слабеет, когда человек старится: обычно старики не могут расслышать пронзительный визг летучей мыши. В последнее время Фрэнсис Гальтон (Francis Galton) очень заинтересовался

наблюдениями над пределами слуховой способности различных людей и употреблял специальный высокочастотный свисток для определения верхнего предела улавливаемых звуков. Многим очень высокие звуки кажутся все одинаковыми: такие люди способны слышать некоторые звуки, но не в состоянии определить их высоту.

Относительно нижнего предела тех звуков, которые мы в состоянии слышать, надо сказать, что здесь трудно определить, воспринимаем ли мы эти звуки с помощью ушей или нет, потому что в этом случае человеческое тело также в состоянии ощущать колебания. Когда в церкви раздаются нижние ноты органа, то слушатели часто сомневаются в том, действительно ли они улавливают звуки или они чувствуют только колебания скамеек.

Если я хочу устроить музыкальный инструмент, то я должен найти механизм, который мог бы удобно воспроизводить целую последовательность все повышающихся тонов. Существует очень много способов сделать это. Но между этими способами всего лишь два-три оказались достаточно удобными. Сначала рассмотрим колеблющуюся струну. Если мы натянем между двумя точками струну и, зажав ее в середине, отведем в сторону, а затем отпустим, то, раньше чем остановиться, она будет ходить долгое время взад и вперед, совершая при этом сотни колебаний, или вибраций, как мы их называем. Это как раз то, что нам требуется. Для нас было бы бесполезно, если бы струна, после того как мы ее оттянули, осталась на месте или если бы она медленно вернулась назад к своему исходному положению. Струна в этом случае похожа на маятник. Если привесок маятника отодвинуть в сторону, а потом отпустить его, то он благодаря своему весу устремится в середину, но и там он не остановится. Приобретенная им инерция пронесет его мимо, и он будет подниматься вверх с другой стороны до тех пор, пока усилия, которые он затрачивает на подъем, не истощат его энергии, после чего маятник снова повернет назад, и таким образом мы получим непрерывное движение взад и вперед. Струна, подобно маятнику, устремляется назад, к своему среднему положению, проходит через него, достигает крайнего положения с другой стороны, отбрасывается назад и снова повторяет то же движение.

Очень важно заметить, что время, необходимое для каждого колебания как маятника, так и струны, не зависит от величины их размахов. Колеблющиеся и качающиеся тела все, без исключения, подчиняются этому правилу, и мы должны быть этим очень довольны. Предположим на одну минуту, что с уменьшением размахов время колебаний также меняется. Вообразите, чтобы получилось, если бы вы попытались играть на рояле, когда высота издаваемых им тонов зависела бы от того, насколько сильно вы ударили клавишу, и изменилась бы при замирании звука.

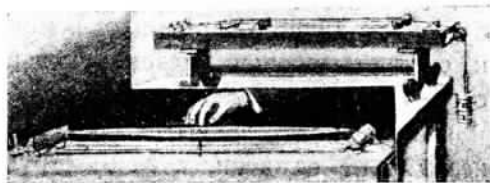


Рис. 20. Наверху виден монохорд, которым пользуются при изучении колебаний струны. Внизу показана форма, которую, как нам кажется, принимает струна во время своего колебания.

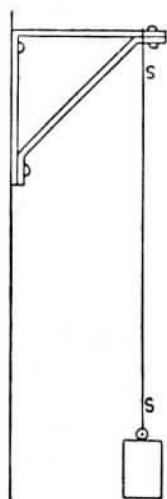


Рис. 21. Эта струна, колеблясь, не издает сильных звуков, так как она не присоединена к резонирующей поверхности.

Если шарик маятника колеблется в воде, то он вскоре останавливается, так как его энергия передается воде и иссякает в небольших вихрях и водоворотах. Когда маятник колеблется в воздухе, то при этом также происходят вихри, но соответствующая потеря энергии гораздо меньше. Колеблющаяся струна вызывает в воздухе небольшое сотрясение, потому что она тонка и легко скользит в воздухе. Поэтому струна отдает небольшое количество энергии. Но, колеблясь, струна шатает свою подставку, а эта последняя раскачивает то, на чем она стоит, и все эти движения постепенно истощают энергию струны.

Нам особенно желательно, чтобы энергия, рассеиваясь, переходила главным образом в пульсации воздуха; для этого обычно ту или иную подпорку струны укрепляют на широкой поверхности, которая, колеблясь, производит сильное действие на соприкасающийся с ней воздух. Эта поверхность называется резонирующей поверхностью, или декой. Если вы вспомните наш предыдущий опыт с музыкальным ящиком, то вы сможете

оценить значение такой поверхности. Возьмем струну (рис. 21), укрепим один ее конец на костыле и, привязав к другому концу большую тяжесть, крепко ее натянем. Если теперь дернуть струну, то она начинает свободно качаться, но шума при этом будет очень мало. В монохорде струна приделана к соответствующей резонирующей поверхности, и когда струна колеблется, то мы это ясно слышим.

Звуки, которые вы слышите, когда играют на скрипке, исходят от ее деки, а не от струн, ибо дека в состоянии вторить тем звукам, которые первоначально вызывает струна. Поэтому музыка, которую мы слышим, представляет собою

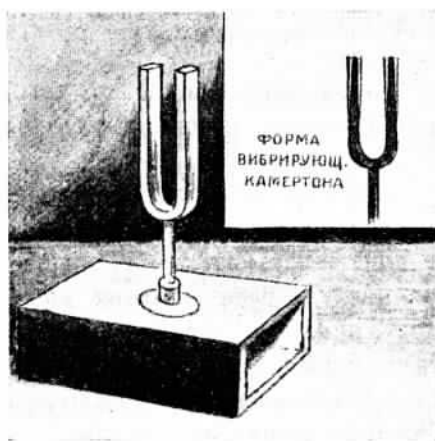


Рис. 22. Камертон, установленный на соответствующем ему резонирующем ящике.

те самые звуки, которые производит дека; эта последняя должна быть сделана очень тщательно, и потому первоклассные скрипки ценятся очень высоко. Правда, и струны в скрипках должны быть хороши, но особенно ценны в них не струны, а именно дека.

Здесь перед вами находится камертон. Когда он колеблется и его ножка не прижата к поверхности, которую он может заставить вибрировать, по-

сылая таким образом сильные пульсации в воздух, то он звучит негромко. Иногда камертон прикрепляется к резонирующему ящику, которому придают такую форму, что он распространяет звуки этого камертона особенно сильно.

Струна монохорда издает непрерывный тон, и ею очень удобно пользоваться. Заметьте, кроме того, что высота этого тона вполне зависит от нас. Так, с помощью монохорда легко можно показать, что, укорачивая струну или сильнее ее натягивая, мы повышаем ее тон. Музыкальный инструмент должен быть в состоянии издавать много тонов, и если мы хотим положить в основу его конструкции струну, то мы должны устроить так, чтобы играющий мог пользоваться

многими струнами или, по крайней мере, мог получать все желаемые ноты при помощи определенного ограниченного числа струн. Скрипач пользуется четырьмя струнами и получает различные звуки благодаря тому, что он кладет свои пальцы на различные точки одной или нескольких струн и тем самым искусственно изменяет их длину. Своим пальцем он крепко прижимает струну, и, таким образом, вибрирующая часть простирается только между его пальцами и костыльком. При этом на него падает вся ответственность за правильность игры. Этим способом можно получить мельчайшие и нежнейшие оттенки.

На рояле и на арфе различным нотам соответствуют различные струны. При этом работа играющего, с одной стороны, на много облегчается, но, с другой стороны, он теряет возможность делать определенные, весьма малые изменения в высоте звука, которые, как мы увидим дальше, необходимы для совершенства игры.

Некоторые изменения в высоте тонов, которые производят для того, чтобы настроить струнный инструмент перед игрой, достигаются изменением натяжений соответствующих струн.

Есть еще и другой метод получения различных тонов от одной и той же струны, и этот метод мы также можем объяснить с помощью монохорда. Я провожу смычком по струне монохорда и получаю самый низкий тон, который она издает. Если теперь я прикоснусь к середине струны и снова проведу смычком, то я получу звук на одну октаву выше. Присматриваясь внимательно к струне, мы легко можем заметить, что каждая ее половина колеблется отдельно. Мы уже увидели, что в том случае, когда один тон на октаву выше другого, первый имеет в два раза большее число колебаний, чем второй; поэтому колебание каждой половины струны происходит в два раза скорее, чем те колебания, которые имеют место, когда вся струна колеблется как нечто целое. Обратим внимание еще и на следующее обстоятельство: если я коснусь струны не вполне точно в ее середине, то я вообще не получу никакого тона; послышится только ужасный стон, который показывает, что струна таким образом не может колебаться. Легко понять, почему это происходит. Струна может вибрировать двумя равными частями, потому что в этом случае обе части вибрируют с одной и той же скоростью,

их колебания постоянно направлены в противоположные стороны и, таким образом, обе части оказываются симметричными относительно точки деления. Если среднюю точку постоянно удерживают в покое, то колебания должны происходить так,

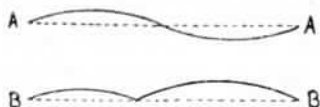


Рис. 23. AA представляет форму, которую принимает в некоторый момент струна, колеблющаяся двумя равными частями. Струна не может колебаться двумя неравными частями, так как при этом она должна была бы в промежутках принимать форму BB, а это невозможно.

Если бы обе части струны были не равны друг другу, то струна должна была бы принимать иногда форму, показанную на рисунке, а это невозможно. Малейшее прикосновение в середине струны заставляет ее колебаться двумя равными частями:

эта форма колебаний вполне естественна. Самый низкий тон, который получается при колебании всей струны, мы называем основным тоном этой струны. Остальные же ее тоны мы называем обертонами.

Если мы коснемся струны на расстоянии от конца, равном одной трети ее длины, и проведем по струне смычком, то мы заставим струну колебаться тремя равными частями. В полученном таким образом тоне музыкальное ухо распознает квинту того тона, который соответствует делению на две равные части. При помощи прибора с зубчатыми колесами мы убедились, что когда один тон составляет



Рис. 24. Часть согнутых кусочков бумаги слетает со струны, когда по ней проводят смычком. Оставшиеся кусочки расположены в узлах, т.-е. в местах покоя.

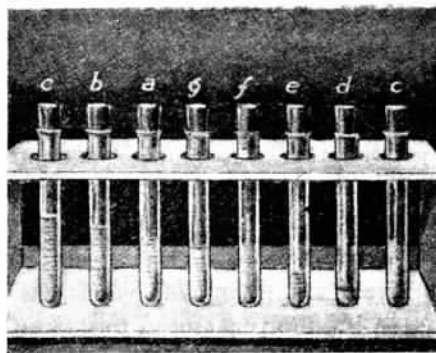
квинту другого тона, то соответствующие колебания относятся как 3:2; отсюда мы заключаем, что каждая часть струны, раз-

деленной на три части, совершает три колебания, в то время как каждая часть струны, разделенная на две части, совершает два колебания. Мы можем перейти и к более высоким цифрам: легко получить тоны, соответствующие колебаниям, происходящим в 4, 5, 6, до 12, 13 и т. д. раз скорее, чем колебания, соответствующие основному тону. Итак, мы получили очень много тонов из одной и той же струны.

Существует маленький, очень красивый опыт, иллюстрирующий, как колеблющаяся струна делится на части. Покажем, например, как происходит деление струны на четыре части. Я кладу небольшие согнутые кусочки синей бумаги на струну (рис. 24) в первом и втором местах деления, оставляя третье место для прикосновения моего пальца. На полдороге между концом струны и первой точкой, между первой и второй точками и между второй и третьей я кладу согнутые кусочки желтой бумаги. При колебании струны четырьмя отдельными частями, точки, где находятся синие бумажки, оказываются точками покоя; а в тех точках, где находятся желтые бумажки, происходят очень сильные колебания струны. Поэтому, когда я кладу палец на струну в соответствующем месте и слегка прикасаюсь к ней смычком, то желтые бумажки слетают, в то время как синие остаются на месте.

Другой тип очень важных музыкальных инструментов основан на движении воздушных столбов, содержащихся в трубах, или на движении масс воздуха, содержащихся в сосудах некоторой определенной формы. Здесь, например, перед вами находится высокая банка (см. дальше, рис. 28); воздух внутри банки заставляют колебаться и то входить в нее, то выходить из нее, при чем скорость этих движений зависит, главным образом, от высоты банки. Когда мы имели дело с колеблющейся струной, мы заставляли ее дрожать, отводя ее назад и отпуская ее, после чего она в продолжение некоторого времени непрерывно колебалась и звучала. Соответствующего опыта с воздушными столбами мы не можем сделать, или, лучше сказать, мы не можем его сделать удачно. Чтобы показать, что можно сделать в этом случае, я беру несколько пробирок, содержащих различное количество воды, и располагаю их в ряд, по высоте этой воды. Когда я вытягиваю из них пробки, то воздушные

столбы внутри трубок начинают колебаться, подобно тому как струна колеблется, когда ее дергают. Обратите внимание, что когда мы вытягиваем пробки, то получаются все последовательные ноты гаммы, но каждый звук продолжается очень недолго: в действительности энергия его иссякает очень быстро, гораздо быстрее, чем это происходит в колеблющейся струне.



*Рис. 25.* Ряд пробирок с пробками, в которых вода налита до такого уровня, что при вытягивании пробки получается требуемый тон. Если вытягивать все пробки под-ряд, то получаются все тона музыкальной гаммы.

Тем не менее звук продолжается достаточно долго, чтобы мы могли уловить его высоту.

Когда выливают воду из полной бутылки, то происходящее при этом бульканье воды состоит из последовательности недолго продолжающихся тонов: легко заметить, что с увеличением воздушного пространства в бутылке эти звуки становятся ниже. Шум происходит также и при наполнении бутылки

водой. В этом случае, чем меньше становится воздушное пространство, тем выше становится звук, что мы можем, например, заметить, когда мы наполняем кувшин доверху водой.

Очень легко получить все разнообразие тонов с помощью колеблющихся воздушных масс, подобно тому как мы получали это с помощью струны. Для получения низких тонов мы будем употреблять высокие столбы, или большие воздушные массы. Для высоких тонов — низкие столбы, или небольшие массы.

Если мы хотим получить с помощью воздушных масс непрерывный тон, то мы должны сделать нечто большее, чем сообщить этим массам толчок. Мы должны поддерживать колебания этих масс. Это можно сделать многими способами, и некоторые из них мы должны внимательно рассмотреть. Иногда мы дуем у отверстия трубки или какого-либо другого тела, наполненного воздухом. В дальнейшем я объясню, каким образом воздух в бутылке или в трубке

можно заставить непрерывно и сильно колебаться. Теперь достаточно только дать несколько примеров таких колебаний. Когда я дую у отверстия пробирки, то легко заставить ее отвечать и получить те же тоны, которые издавали пробирки, когда из них вытаскивали пробки. Если правильно дуть, то получаются очень громкие звуки.



Рис. 26. Когда мы дуем над отверстием пробирки, то находящийся внутри нее воздух приходит в колебательное движение.

В органных трубах и свистках существуют каналы для направления воздуха вверх и поперек мундштука трубы, и таким образом музыкант не может ошибиться. При игре на флейте и дудке музыкант сам направляет воздушную струю, и поэтому необходим большой навык, чтобы получать на них соответствующие звуки. Делать из молодых ивовых ветвей свистки с правильными мундштуками, т.-е. с такими мундштуками, в которых воздушная струя образовалась бы безошибочно, это большое искусство и подчас бывает нелегкой штукой. Когда мастер делает орган и кончает свои трубы, то он должен приложить еще много старания для отделки деревянных концов, в которые вдуваются воздушные струи; часто он делает очень маленькие бороздки, при чем для выполнения этой работы необходим большой опыт. Мастер называет эту операцию „настройкой“ и считает, что его работа успешно закончена лишь тогда, когда трубы издадут чистые и сильные звуки.

Я могу вызвать колебания воздуха в находящейся перед вами банке и другим, более грубым способом. Вместо того чтобы вызывать колебания соответствующей частоты, дую у горлышка этой банки, я могу поставить над краем банки вибрирующий камертон. Действительно, дрожания камертона настолько сильны, что производящие звуки воз-

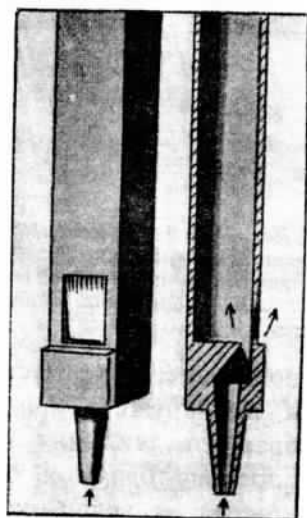


Рис. 27. Органная труба: общий вид и продольный разрез. Стрелками указано направление воздушной струи.

душные столбы подчиняются его движениям; но пока воздушный столб не достигнет соответствующей высоты, эти отзвуки бывают не особенно сильны. Когда эта высота достигается, и собственный тон воздушного столба как раз соответствует тону камертона, то банка громко вторит ему (резонирует). В этом случае воздушные столбы представляют собою как бы агента камертона, забирающего его энергию и широко ее распространяющего. Следовательно, энергия камертона должна при этом расточаться гораздо скорее.



Рис. 28. В банку наливают воду до тех пор, пока воздушный столб, достигнув некоторой определенной высоты, начнет громко вторить колебаниям камертона.

Движения воздушных столбов совершенно невидимы, и очень трудно себе представить, что в этом случае происходит.

Я всегда находил, что модель, состоящая из длинной спиральной пружины, помогает уяснить действие воздушных столбов. Здесь перед вами (рис. 29) находится такая пружина, сделанная из железной проволоки и имеющая в длину около пяти метров. Она подвешена к потолку на куске веревки, и когда нижний ее конец слегка

поднимается и опускается, то верхний остается в покое, и вся пружина колеблется. Эти колебания пружины изображают движения воздушной колонны в банке. Если я опрокину банку и буду ее держать дном кверху, то открытый ее конец, который теперь находится внизу, будет соответствовать колеблющемуся концу пружины. В одном случае имеет место свободное движение пружины, в другом — воздух свободно то выходит то входит в отверстие банки. В обоих случаях у верхнего конца движения не происходит.

Движения пружины настолько медленны, что их легко можно сосчитать. Это помогает нам найти очень важный закон. Положим, что вместо того, чтобы слегка привести

пружину в движение, мы ее сильно дернем. Когда пружина находится в полном покое, я внезапно опускаю ее нижний конец на 10—15 см; заметьте, пружина остается в том месте, куда я ее опустил, — так продолжается всего лишь момент. Затем пульсация, которую я вызвал в пружине, пробегает сначала вверх, по проволоке, а затем опять вниз, и проволока вовсе не возвращается сразу в свое первоначальное положение. В действительности она, по инерции, сжимается слишком сильно, и пульсация пробегает в противоположные стороны вверх и вниз в течение некоторого времени. Если мы посчитаем теперь, с какой быстротой эти движения вверх и вниз следуют одно за другим, то мы найдем, что их скорость как раз равна той скорости, с какой мы слегка отклоняем вниз пружину. Таким образом мы находим, что для полного пробега одной пульсации по пружине необходимо всегда одно и то же время. Между двумя соседними моментами наибольшего растяжения пружины пульсация пробегает по ней дважды вверх и дважды вниз. Таким образом, если мы подсчитаем число колебаний пружины в течение некоторого времени, то мы найдем, с какой скоростью проходит по ней пульсация. Заметьте к тому же, что всевозможные пульсации — как резкие, так и мягкие, как те, которые вызваны одним дерганьем, так и те, которые вызваны двумя дерганиями, — все они пробегают по пружине с одной и той же скоростью.

Этот закон справедлив также и для воздушного столба; действительно, мы можем найти скорость звука в воздухе, измеряя длину воздушного столба, которая отвечает на колебания камертона, и умножая эту длину на учетверенное число колебаний камертона в секунду.

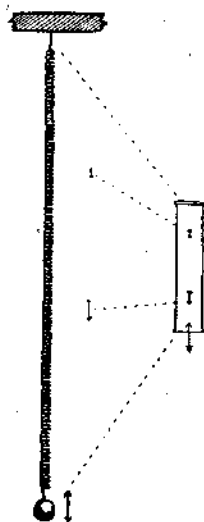


Рис. 29. Длинная колеблющаяся спиральная пружина. К концу этой пружины прикреплен легкий шар, который делает ее движения более заметными. Движения эти имеют тот же характер, что и колебания воздушного столба в банке. Двойные стрелки указывают на их величину в различных местах, а пунктирные линии соединяют их с соответствующими точками в банке.

Очень часто бывает важно измерить скорость звука в некотором веществе и часто случается, что указанный способ является единственным. В редких случаях мы имеем достаточное количество вещества для того, чтобы мы могли непосредственно проследить за движением звука в течение целой секунды. Только воздух, вода и земля дают для этого достаточно простору.

Мы уже видели, что можно получить звук определенной высоты из трубы, имеющей соответствующую длину; соединяя вместе достаточное количество трубок различных размеров, мастер, делающий органы, получает полную шкалу нот. Этим же способом был сделан самый старый из орга-



Рис. 30. Флейта Пана.

нов — флейта Пана. Но мы можем поступить также и иначе, — мы можем взять одну трубу и изменять ее длину во время игры. Играющий на дудке прикрывает своими пальцами ряд отверстий. Когда он последовательно поднимает свои пальцы, начиная с того, который находится дальше всего от его губ, то этим он постепенно укорачивает трубу, так как та ее часть, колебания которой определяют высоту тона, простирается от мундштука до ближайшей открытой дырочки. Остаток трубы не имеет обычно никакого значения, за исключением некоторых определенных случаев, в которых устройство трубы основано на других принципах. К рассмотрению этих случаев мы сейчас и перейдем.

Из одной и той же трубы можно получить различные тоны, подобно тому как мы получали различные тоны из струны, не меняя ее длины. Здесь, например, перед вами находится закрытая с одной стороны стеклянная трубка длиной в пятнадцать сантиметров. Дюя через открытый конец, я получаю определенный тон. Дюя сильнее, я получаю другой, более высокий тон, а дюя еще сильнее, я получаю пронзительный звук. Мы нашли, что высокие тоны соответствуют коротким длинам, и мы можем догадаться, что в том случае, когда мы имеем дело с трубами, то, подобно тому как это было со струнами, высокие тоны могут быть полу-

чены с помощью разделения длинного столба на короткие части.

При этом очень удобно снова использовать пружинную модель. Здесь перед вами находятся пять стальных пружин раз-



Рис. 31. Дудка. Рисунок показывает, каким образом получают на дудке тоны музыкальной гаммы.

личной длины (рис. 32). Одна из них имеет в длину 25 см, другая 30, остальные 45, 60 и 75 см. Верхние концы первой, третьей и пятой пружин закреплены в определенных точках, а их нижние концы погружены в ртуть. Во второй и четвертой пружинах закреплены оба конца. Сквозь все пружины пробегает электрический ток, при чем пружины соединены между собой последовательно. Вследствие этого, когда сквозь соседние витки проходит электрический ток, они притягиваются друг к другу, как это и должно происходить согласно хорошо известным законам электричества. Самая короткая пружина, находясь в покое, едва только касается ртути, находящейся в чашке. Когда она сжимается, нижний ее конец выходит из ртути, электрический ток прерывается, и пока-

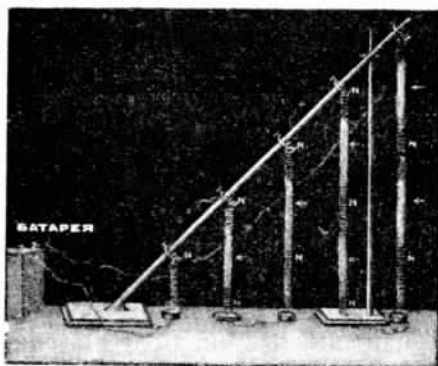


Рис. 32. Колебание пяти проволок. Период этих колебаний устанавливается по наименьшей из них. Самая длинная проволока делится при этом на пять частей, длина каждой из которых равна длине самой короткой проволоки; следующая — на четыре равных части и т. д. Стрелками указаны места наибольшего движения (так называемые «пучности»), а «узлы», т. е. точки покоя, обозначены буквой N.

зывается сверкающая электрическая искра. Ток при этом прекращается во всех пружинах одновременно, и они перестают сжиматься. Короткая пружина старается снова принять первоначальное положение, расширяется и погружает свой нижний конец в ртуть, ток восстанавливается, и пружины снова сжимаются. Этот цикл явлений повторяется сам собой регулярно, и все пружины находятся под влиянием сжимающей силы, которая соответствует собственным колебаниям наиболее короткой. Действительное движение пружин очень невелико. Для того чтобы за этими движениями удобно было следить, мы отбрасываем тени пружин на экран и таким образом значительно увеличиваем эти движения.

Ясно теперь, что в пружинах действительно происходит разделение на части, подобное тому, которое мы описали. В средней по своим размерам пружине точка покоя отстоит от ее нижнего конца на расстоянии, равном одной трети высоты этой пружины, выше, — на расстоянии двух третей, — движение пружины так же велико, как и у ее нижнего конца. Пружина колеблется тремя частями, в каждой из которых один конец неподвижен, а другой колеблется. Остающаяся в покое точка называется узлом. В самой длинной пружине имеются два узла, и она колеблется пятью частями. Итак ясно, что пружина, которая закреплена в одном своем конце и второй конец которой свободен, может колебаться одной, тремя, пятью и вообще нечетным числом своих частей. Когда я выдуваю три ноты из короткой части стеклянной трубки, то это соответствует делению на одну, три и пять частей. Более высокие ноты имеют в три и в пять раз большую частоту, нежели самый низкий тон.

Вторая и четвертая пружины закреплены как своим верхним, так и своим нижним концами, и их можно также заставить вибрировать действием той же короткой пружины. Колебаясь, они делятся соответственно на две и на четыре части. Ток пробегает сквозь всю длину каждой пружины и, если бы не железная полоса, которая вставлена внутрь одной из таких частей, то последняя оставалась бы все время неподвижной, потому что в ней одновременно одно и то же число витков и расширяется и сжимается. Железная полоса, однако, настолько усиливает магнитное притя-

жение в той части пружины, внутри которой она находится, что получающаяся при этом равнодействующая всех сил заставляет пружину колебаться.

Таким образом пружина, оба конца которой закреплены, делится на четное число частей.

То же происходит и с пружиной, свободной на обоих концах. Действие подобной пружины можно выяснить с помощью двойной пружины, которая находится перед вами. В ней обе части связаны тонкой веревочкой, перекинутой через два прикрепленных к потолку блока. Эти блоки вследствие своей инерции и трения—хотя то и другое в них очень слабо—несколько препятствуют полному действию нашей модели, но все-таки легко показать, как происходят колебания пружины (представляющей в данном случае столб воздуха) двумя равными частями. Если я приведу одну половину этой двойной пружины в движение, слегка оттянув ее, то она начнет колебаться, сохраняя все время свой собственный период. Другая половина пружины придет при этом в точно такое же движение, хотя мы ее не трогали. В середине обе части пружины отделяет друг от друга узел: колебания веревки, соединяющей пружины сверху, почти не заметны.

Двойная пружина показывает очень ясно, как внезапная оттяжка одного конца вызывает волну расширения, которая пробегает вверх по первой пружине и вниз по второй; конец последней пружины внезапно подскакивает вверх, выходя из своего первоначального положения. Волна сжатия проходит вверх по второй пружине и вниз по первой, которая стремительно опускается вниз к своему нижнему концу, когда пульсация достигает до нее. После этого еще раз возникает вторая сжимающаяся пульсация и процесс повторяется сам собой. Вся двойная пружина в целом движется в том направлении, в котором был произведен первый импульс; но это движение подобно движению червя, который попеременно то вытягивает переднюю часть и сжимает заднюю, то вытягивает заднюю и сжимает переднюю.



Рис. 33. Две пружины соединены тонкой веревкой, перекинутой через два алюминиевых блока. Внизу к пружинам привешены очень легкие белые шары.

Труба, закрытая с обеих сторон, бесполезна для музыканта, так как ее энергия не может переходить во внешний воздух и никто бы не расслышал издаваемых ею звуков. Труба же, открытая с обоих своих концов, употребляется очень часто и, во всяком случае, чаще, чем труба, открытая с одной стороны и закрытая с другой. Такой, например, трубой является находящаяся перед вами простая гладкая длинная отеклянная трубка. Когда я дую через один ее конец, возникает слабое колебание, которое вы можете расслышать. Получить сильные звуки от трубы, у которой оба конца открыты, гораздо труднее, чем получить их от трубы, у которой один конец закрыт. Это происходит отчасти потому что в первой трубе энергия рассеивается слишком быстро, но, как я полагаю, при этом играют некоторую роль и другие, более веские причины. Я получу гораздо лучшие тоны, если надену на мою трубку похожий на свисток деревянный мундштук и буду дуть через него; струя воздуха в этом случае будет направляться правильнее. Теперь наша труба может издавать много тонов. Наиболее низкий тон получается тогда, когда труба колеблется двумя частями, а так как наша труба имеет в длину сто сантиметров, то длина каждой ее части составляет пятьдесят сантиметров. Длина волны равна, таким образом, двумстам сантиметрам, а частота ее равна  $33\,000 : 200$ , т.-е. 165, что вполне соответствует низкому тону. Получить наиболее низкий звук довольно трудно. Для этого нужно только дышать в свисток. Звук при этом получается настолько слабый, что он едва слышен, но, дую несколько сильнее, я получаю более высокий тон, который издает труба, разделенная на четыре части. Длина каждой из этих частей равна половине длины аналогичных частей, которые получились в предыдущем случае, и получившийся при этом тон на октаву выше предыдущего. Если мы станем дуть все сильнее и сильнее, то эти части станут все короче и короче, и частота колебаний, получающаяся таким образом, последовательно возрастает в три, четыре, пять и т. д. раз. Из этой трубки может быть получено достаточное число тонов, — хотя для того чтобы взять нужный тон без ошибки, необходим достаточный навык. Любопытно отметить, что колебания, частота которых в семь раз больше основного тона, производят на нас впечатление фальшивого

тона; это объясняется тем, что этот тон не включен в музыкальную гамму. К этому вопросу мы еще вернемся в дальнейшем.

Существуют также и другие способы получения музыкальных звуков. Мы можем рассматривать их как дальнейшую иллюстрацию изложенных нами основных положений; вот, например, перед вами лежит „дульсимер“, состоящий из деревянных брусков, величина которых подобрана соответствующим образом; все они укреплены на двух веревках. С помощью этого „дульсимера“ можно получить все ноты музыкальной гаммы. Тут находится также и ряд бамбуковых палок, расположенных по своей длине и образующих ин-

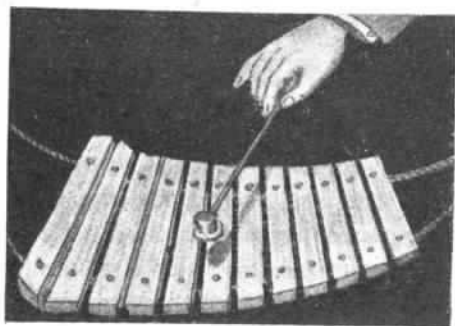


Рис. 34. Деревянный дульсимер.



Рис. 35. Бамбуковая арфа.

струмент, на котором мы можем играть, проводя по палкам руками, одетыми в хорошо просмоленные перчатки. Этой бамбуковой арфой пользовался Тиндалль и описал ее в своей книжке. Здесь находится ряд отдельных деревянных кусочков. Когда я их по очереди бросаю на стол, то мы получаем все ноты музыкальной гаммы.

Во время опыта с восемью колесами и картоном мы уже видели, что между частотой колебаний тонов музыкальной гаммы существуют определенные, очень простые численные соотношения, которые мы тогда же отметили. Мы избрали эти тоны, — и это очень важно выяснить; — не потому, что им соответствуют такие простые соотношения: нет, в продолжение сотен лет люди, испытывая целый ряд тонов и подбирая их, пришли именно к этим частотам колебаний и таким образом нашли эти простые соотношения. Нет ничего удивительного в том, что некоторые народы избрали другие соотношения. Например, старая галикская гамма, ко-

торая употребляется в некоторых песнях, не имеет ни кварты ни септимы. Такую гамму очень легко получить на рояле, употребляя одни только черные клавиши: фа-диез будет в данном случае тоникой, а квартой и септимой к ней будут обычные до и фа, которых при этом не играют. У некоторых народов, например, у арабов, гамма имеет более существенные отличия: они различают четверти тона, которые равны половине наименьшего интервала на нашей шкале.

Есть еще одна очень замечательная вещь, о которой я хочу сейчас говорить. Предположим, что мы хотим устроить инструмент, из которого можно было бы получить все необходимые для нас звуки. Мы будем исходить из ряда звуков, распределенных в гамму, начиная, например, с тона, имеющего частоту 256, как с тоники. В этом случае мы получим следующую последовательность в восьми колесах, которые давали нам музыкальную гамму:

|     |     |     |                  |      |                  |     |     |
|-----|-----|-----|------------------|------|------------------|-----|-----|
| 256 | 288 | 320 | $341\frac{1}{3}$ | 384  | $426\frac{2}{3}$ | 480 | 512 |
| до  | ре  | ми  | фа               | соль | ля               | си  | до. |

Но пойдем дальше. Мы хотим, чтобы музыка была основана не на одной только тонике, а на нескольких: игра хорошего музыканта зависит от того, что он может переходить от одной тоники к другой и таким образом получать известный эффект. Предположим, что мы хотим, чтобы было возможно играть также с ре как тоники. В таком случае мы должны построить ряд тонов, частота которых так относится к 288, как частота только что полученного нами ряда относится к 256. Я подпишу эти два ряда один под другим:

|     |     |     |                  |     |                  |     |         |
|-----|-----|-----|------------------|-----|------------------|-----|---------|
| 256 | 288 | 320 | $341\frac{1}{3}$ | 384 | $426\frac{2}{3}$ | 480 | 512     |
|     | 288 | 324 | 360              | 384 | 432              | 480 | 540 576 |

Эта арифметика оказывается слишком громоздкой для нас: не то чтобы мы не могли оперировать этими числами, а дело в том, что на основании результатов, полученных таким образом, мы не можем построить инструменты. Тон, который должен быть сделан третьим в гамме до, не вполне совпадает со вторым тоном в гамме ре; при этом является вопрос—увеличить ли число струн или труб на одну, ограничиться ли только старыми струнами или же избрать нечто среднее? Опять-таки, немножко дальше в этом ряду, мы на-

ходим тон с частотой 360, которая далеко не совпадает ни с фа ни с соль; мы, таким образом, приходим к заключению, что нужно включить еще один тон, называемый фа-диез, которому соответствует на пианино черный клавиш. Кроме того мы имеем новый тон, с частотою 432, который весьма близок к частоте тона ля, а также и тон с частотой 540, который находится на полпути между до и ре и дает начало другому, новому, черному клавишу на пианино.

Перед нами, таким образом, оказалась очень трудная задача, так как для того, чтобы получить все эти тоны, нужно сделать очень большое число клавиш. Из этого положения было предложено несколько выходов, которые основаны на добавлении новых тонов, в худших случаях, и на изменении уже имеющихся—в остальных случаях. Например, мы можем решить, что нам нехватает места для двух струн (или труб) с частотами 320 и 324, и мы можем ограничиться одной только струной с частотой 322, которая должна заменять обе эти струны. Но мы принуждены добавить еще новые струны с частотами 350 и 540, так как мы не можем приспособить для них ни одну из старых струн.

Но этот частичный компромисс недостаточен. Нам нужно точно так же рассмотреть и все остальные ноты, а не только до и ре. Общее решение, которое принято теперь всеми, крайне грубо; оно ограничивается присоединением пяти новых струн и соответствующих им тонов, т.-е. прибавлением к белым клавишам черных, и настройкой всех струн таким образом, чтобы мы могли одинаково хорошо или, лучше сказать, одинаково плохо играть на всех клавишах. В октаве имеется двенадцать интервалов. От до до-диез; от до-диез до ре; от ре до ре-диез; от ре-диез до ми; от ми до фа и т. д. Все эти интервалы равны между собой. При той настройке, которая производится теперь в рояле или органе, вовсе нет правильных интервалов, за исключением октав. Но эти неточности очень невелики, и мы с ними вполне свыклись.

Надо здесь заметить, что певец или скрипач имеют то преимущество, что они могут получить тон, соответствующий любой частоте; эту способность они получают благодаря усиленным упражнениям, благодаря той смелости, с которой они проходят мимо опасных мест, и благодаря искусству,

с которым они избегают фальшивых нот. Другие инструменты, подобные флейте, снабжены клапанами, которые снимают большинство ответственности с исполнителя, но ограничивают его способность проявить себя; играющий на флейте может изменять высоту звуков, изменяя способ дутья в мундштук.

Хотя описанный нами только что способ избежания арифметических затруднений и является современным способом, но он далеко не единственный. Настройка инструментов выполнялась лет сто тому назад с тем же числом клавиш, как и ныне, т.-е. с пятью черными и восемью белыми в октаве, но делалась так, что определенное число клавиш соответствовало почти правильным тонам. Остальные клавиши были предоставлены самим себе; их называли „волками“, так как они безобразно завывали.

---

## ЗВУКИ ГОРОДА

На открытом воздухе звуки расходятся и большей частью не возвращаются; но иногда они приходят обратно, и тогда мы говорим, что слышно эхо. Эхо, которое доносится до нас на открытом воздухе, гораздо слабее того отражения звуков, которое происходит внутри комнаты или на улице. В комнате стены, потолок и пол ведут себя по отношению к звуку точно так же, как зеркала ведут себя по отношению к свету. Здесь происходит бесчисленное число отражений, и раз произведенный звук потом еще долго звучит в комнате. Занавески, мебель и все те вещи, которые отражают и поглощают звуковые волны, уменьшают резонанс. Иногда, входя в дом, можно заметить по разнице в звуке, что с лестниц сняты дорожки. „Слепой Джастис Фильдинг, ныне уже умерший, посетив меня однажды и войдя в первый раз в мою комнату, сказал мне после недолгого разговора: „Длина этой комнаты около 22 футов, ширина ее 18, а высота 12 футов“; обо всем этом он догадался по слуху и притом с очень большой точностью“ („Зоономия“ Дарвина).

Слепые очень скоро умеют улавливать тот тон, на который данная комната особенно хорошо резонирует, и судить по этому о ее размерах. Они также очень чувствительны к отражающей способности лежащих вблизи них поверхностей и могут на основании этого судить о природе этих поверхностей и о том, на каком расстоянии они находятся. Зрячие мало используют в этом смысле свои слуховые способности. Однако когда мы идем в темноте и приближаемся к концу очень длинного прохода, то часто мы полагаемся именно на эту нашу способность. Если мы будем исследовать в этом отношении пустую комнату, то мы найдем, что на некоторые тоны она резонирует особенно хорошо. В ванной комнате, т.е. в комнате, обычно наиболее пустынной

во всей квартире, мы без труда отыщем этот „естественный“ тон комнаты; нам подскажет его плеск воды или звуки нашего голоса. Я полагаю, что это и есть одна из причин, возбуждающая в нас часто желание что-либо спеть: некоторый музыкальный слух у нас есть, а резонанс заставляет

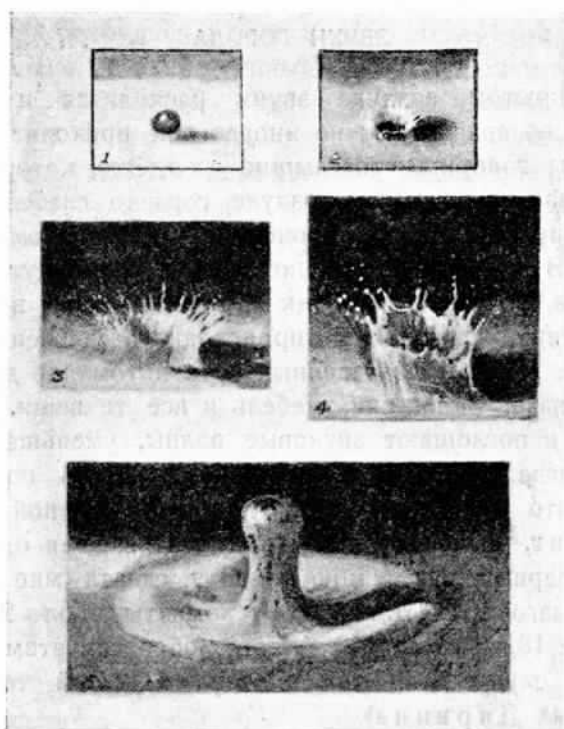


Рис. 36. Капля воды, содержащая сажу, падает в молоко, к которому примешана вода: 1)  $t$  (время) = 0; 2)  $t = 0,0032$  сек; 3)  $t = 0,0050$  сек; 4)  $t = 0,0165$  сек. Эти четыре рисунка показывают, как образуются „корзинные“ брызги, 5)-й показывает происходящее вслед затем поднятие капли.

нас думать, что мы имеем сносный голос. Но какое разочарование ожидает нас, когда мы возвращаемся в свою комнату!

Когда закрывают кран, то капли воды все еще продолжают падать и вызывают небольшие причудливые шумы, которые сами по себе представляют для нас некоторый особый интерес.

Явления, имеющие место, когда капля падает в воду, следуют друг за другом слишком скоро, чтобы наш глаз

мог проследить их. Покойный Уорзингтон (Worthington) применял для записи этих явлений моментальную фотографию. Я хочу вам показать некоторые из полученных им результатов. Его метод работы состоит в опускании небольшого металлического шарика одновременно с каплей воды. Высота падения и момент опускания как шара, так и капли регулировались очень точно. В тот момент, когда капля достигала поверхности воды или проходила ту стадию исследуемых явлений, которую нужно было фиксировать, металлический шар достигал места, где вследствие его прохождения проскакивала яркая электрическая искра. На мгновение вода и капля оказывались очень сильно освещенными. Фотографическая камера стояла в это время уже наготове. Комбинируя различным образом моменты опускания шара и капли, Уорзингтон получил снимки, представлявшие запись последовательных стадий того ряда явлений, который имеет место, когда капля падает в воду. В одном ряде (рис. 36, 1—5) капля воды, к которой прибавлена сажа, падает в смесь молока и воды. На рис. 36 (1) вы можете наблюдать, как эта капля падает, на (2) видны брызги, которые поднимаются, когда капля входит в воду; (3) и (4) показывают последовательное увеличение этих брызг. На (5) виден столб, который поднимается вверх несколько позже, неся на своей верхушке нашу водяную каплю<sup>1</sup>. Если фотографировать то, что происходит под поверхностью воды, то станет ясно, что там часто образуется воздушная воронка. На рис. 37, например, мы видим, как эта воронка образовалась позади дробинки, которая упала в воду. Оказывается, что звук, который мы слы-



Рис. 37. Дробинка, падающая в воду, оставляет позади себя воронку.

<sup>1</sup> „Пусть читатель, получив чашку чая или кофе, к которым не прибавлено молока, даст возможность капле молока упасть туда с ложки, которую он будет держать на высоте 35—40 см. Он без труда заметит, что столб, который поднимает белую каплю молока, будет лишь в незначительной степени состоять из той жидкости, в которую она упала“ (Уорзингтон).

шим при этом падении, есть не что иное как резонанс, получающийся благодаря этой воронке, и он, вероятно, происходит уже после того, как воронка закрывается сверху, а именно в тот момент, когда она снова лопається. Мой друг Ричард Пэджет (Sir Richard Paget) измерил эти воронки в различных случаях и вылепил их модели. Дуя над отверстием модели такой воронки, мы находим, что при этом получаются те самые звуки, которые слышны при падении капли воды. Эти звуки бывают очень высокими, и им соответствует частота колебаний от двух до трех тысяч в секунду.



Рис. 38. Купол, образующийся над воронкой при падении неотшлифованного шара.

Уорзингтон показал также, что очень чистый сухой шар, падая в воду с небольшой высоты, разбрасывает слабые брызги и почти не производит шума. Фотографические снимки показывают, что в этом случае вода прилипает к поверхности шара и обтекает его кругом, когда он в нее входит. Это изображено на рис. 39. Уорзингтон говорит, что в этом случае имеют место „футлярные брызги“; более обычные и сопровождающиеся шумом брызги он называл „корзинными брызгами“. Легко понять, что когда вода покрывает сразу шар таким образом, что вслед за ним не образуется воронки, то никакого шума при этом не должно произойти. Эти опыты очень интересны, и их очень легко выполнить самому. Велосипедные шарики дают очень хорошие футлярные брызги в том случае, если они блестяты и сухи; но влажность шаров, присутствие на них ржавчины и вообще происходящая по какой-либо причине шероховатость их поверхности может чрезвычайно сильно отразиться на результатах нашего опыта. Очень хорошо положить перед опытом на дно сосуда, в который падают шары, кусок сукна или резины. Ричард Пэджет заметил, что если вода недоста-

точно глубока, чтобы в ней образовалась воронка, то не происходит никакого шума.

Капли, последовательно падая при одних и тех же условиях, издают звуки различной высоты. Причина этого, без сомнения, заключается в том, что образующаяся при падении капля воронка изменяется вследствие небольших изменений в форме капли, достигающей поверхности воды, или вследствие изменения формы самой этой поверхности. Капли изменяют свою форму при падении и бывают попеременно то сплюснутыми, то вытянутыми. Форма воронки должна в значительной степени зависеть от того, какую форму имеет капля, когда она ударяется о поверхность воды. Мы должны также помнить, что тон воронки может также зависеть и от размеров отверстия в тот момент, когда раздается звук. Если мы сделаем модель этой воронки и найдем соответствующий ему тон, дующий над ее отверстием, то мы заметим, что высота этого тона будет падать по мере того, как мы будем это отверстие сужать.

Тот факт, что высота тона зависит также и от ширины выходного отверстия, может быть обнаружен различными способами. Некоторые из них были применены покойным лордом Релеем, и мы обратим на них особое внимание. Здесь, например, перед вами находятся две колбы, имеющие одинаковые объемы, но отличающиеся друг от друга шириною горлышка. Когда я дую над отверстием колбы с более узким горлышком, то она дает более низкий тон. Еще более простой опыт можно сделать с обыкновенным мунд-



Рис. 39. Гладкий сухой шарик, падающий в воду и поднимающий небольшие брызги. 1)  $t$  (время) = 0; 2)  $t = 0,0025$  сек; 3)  $t = 0,0080$  сек.

штуком, который представляет собою короткую трубку, более широкую с одного конца, чем с другого. Если я закрою узкий конец мундштука пальцем и буду сильно дуть у более широкого конца, то я получу гораздо более высокий тон, чем когда я буду то же делать, предварительно повернув мундштук.

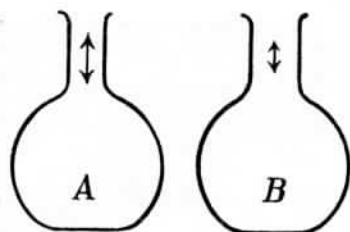


Рис. 40.

Да в конце концов этого и следовало ожидать. Рассмотрим, например, сосуд *A*, который имеет форму, указанную на рис. 40. Когда он издает свой наиболее простой и наиболее низкий тон, то воздух попеременно то устремляется в устье, то выталкивается из него. Когда воздух устремляется в устье, то он сжимает воздух, находящийся внутри сосуда, и давление этого последнего увеличивается; это давление увеличивается все больше и больше, — до тех пор, пока не заставляет, наконец, воздушный поток повернуть, и тогда воздух вытесняется из сосуда. В своем разбеге воздух заходит слишком далеко и спустя некоторое время начинает снова притекать к сосуду. Колебательное движение и состоит в постоянном, непрерывном повторении этих явлений. Предположите, что то же самое имело место также и в сосуде *B*,

имеющем тот же размер, что и сосуд *A*, но горлышко которого шире; пусть то же самое количество воздуха будет то втекать, то вытекать из сосуда; в таком случае максимальное давление здесь будет то же, что и в сосуде *A*. Но так как горлышко сосуда *B* шире, то движения воздуха взад и вперед в нем менее ограничены, и сосуд будет то опорожняться, то снова наполняться с большой скоростью. Поэтому и звуки, которые будет издавать этот сосуд, будут выше.

Хорошую иллюстрацию этого явления представляет собою окарина. В окарину дуют точно так же, как и в дудку, и



Рис. 41. Окарина. *M* — мундштук; *a*, *e*, *f*, *g* — дырочки, которые закрывают пальцами правой руки; остальные дырочки закрывают пальцами левой руки.

так же, как и в дудке, здесь имеется ряд небольших отверстий, которые можно закрывать пальцами. Но окарины имеют своеобразную форму, как это видно на рисунке. По своему внешнему виду они скорее похожи на бутылку, чем на длинную трубку. Когда мы открываем дырочку, приподнимая палец, и играющий дует в главное отверстие, воздух то входит в каждую открытую дырочку, то выходит из нее. Если при этом открыть две дырочки, то звук становится более высоким, так как воздух может колебаться легче, используя одновременно оба отверстия. Если открыть три, четыре, пять дырочек, то звук становится постепенно все выше и выше. Любопытно отметить, что при этом высота звука зависит гораздо более от того, сколько открыто дырочек, чем от того, какие именно дырочки открыты. Если открыта только одна дырочка, то почти безразлично, какая это дырочка — 1, 2, 3 или 4.

Проходя по улицам, мы постоянно слышим городской шум. Любопытно, что как только мы сворачиваем в сторону и удаляемся от главной улицы, то этот шум теряется. Дома отбрасывают звуковые тени, задерживая, главным образом, высокие звуки. Таким образом в боковых улицах городской шум „глохнет“, т. е. там остаются только наиболее низкие его ноты.

Когда мимо нас проезжает автомобиль, то общий тон всех шумов, издаваемых им, все время изменяется: пока автомобиль приближается к нам, тон повышается; когда же он удаляется, тон начинает понижаться. Это явление гораздо легче проследить, когда автомобиль движется быстро: изменение высоты тона происходит тогда очень резко. Пожарный обоз, быстро проезжая по улице, все время дает звонки; тон этих звонков заметно понижается при удалении обоза.

Мы можем объяснить эти явления следующим образом. Когда автомобиль или пожарный обоз приближаются к наблюдателю, то пульсации воздуха, которые происходят с некоторой определенной частотой, забегают вперед по направлению к наблюдателю, а наблюдатель судит о высоте звука по количеству достигающих до него каждую секунду пульсаций. При движении источника это число искусственно возрастает. Каждая пульсация как бы несколько нагоняет предыдущую, и интервалы между двумя последовательными

пульсациями при движении источника оказываются несколько меньшими, чем в том случае, когда источник остается в покое. Я постараюсь помочь вам уяснить себе это одним или двумя сравнениями. Предположим, что некто, возвращаясь в Лондон из Рима, путешествует не спеша и проезжает сто или двести километров в день; при этом он ежедневно пишет своему другу в Лондон. Его друг будет

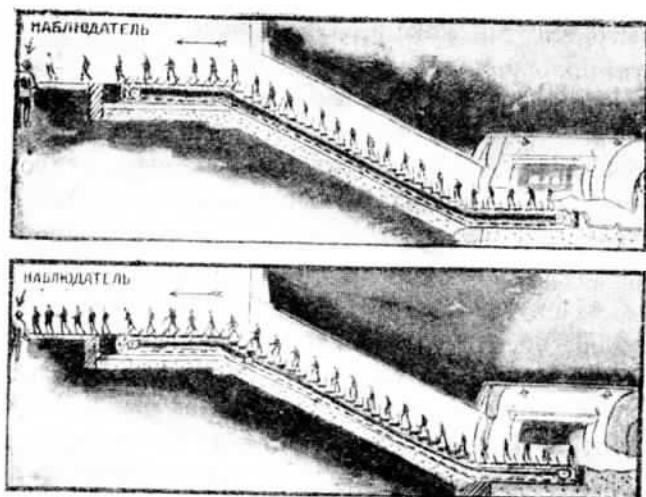


Рис. 42. На верхнем рисунке подвижная лестница находится в покое. Шеренга поднимающихся людей изображает последовательность звуковых волн, исходящих из неподвижной точки. На нижнем рисунке представлена подвижная лестница, которая пущена в ход: здесь люди, проходящие мимо наблюдателя, находятся ближе друг к другу, хотя они и идут с прежней скоростью.

получать, средним числом, больше чем одно письмо ежедневно. Возьмем еще другой пример. Представим себе ряд людей, поднимающихся вверх по движущейся лестнице<sup>1</sup> и восходящих каждую секунду на одну ступеньку; дойдя до конца лестницы, они продолжают идти обычным шагом и проходят мимо наблюдателя, который при этом пересчитывает их. Пусть он сначала производит подсчет, когда движущаяся лестница не работает; потом приведем эту лестницу в действие. Тогда наш наблюдатель заметит, что каждую минуту мимо него будет проходить большее число людей, чем прежде.

<sup>1</sup> Движущейся лестницей, или эскалятором, называется лестница, ступеньки которой сами поднимаются вверх. *Прим. перев.*

Точно так же при приближении автомобиля до наблюдателя доходит каждую секунду большее число пульсаций, чем когда автомобиль удаляется, и, следовательно, тон производимого им шума повышается при этом в отношении числа пульсаций, которые достигают наблюдателя, к частоте колебаний тона, что почти равно отношению скорости автомобиля к скорости звука. Точные вычисления можно найти в учебниках. Если автомобиль приближается со скоростью сорока километров в час, то это отношение равно 1:30, так как звук распространяется со скоростью 1200 километров в час. Когда автомобиль удаляется от наблюдателя с той же скоростью, то тон его шума в такой же мере понижается. Число волн, достигающих наблюдателя в каждую секунду, почти на  $\frac{1}{30}$  меньше действительного числа волн. Если мы будем сравнивать тон приближающегося автомобиля с тоном удаляющегося, то это двойное изменение высоты звука будет доходить до  $\frac{1}{15}$  действительного числа колебаний. Этому соответствует понижение тона почти на полтона, иначе говоря, — тон падает от некоторой ноты до ее бемоля. Когда экспресс мчится мимо станции, то свисток паровоза повышается почти на целый тон, и это повышение бывает в два раза сильнее, когда наблюдатель находится на встречном поезде.

Это изменение высоты тона происходит совершенно одинаково для всех звуков, которые издает проезжающий мимо автомобиль. При ветре изменения становятся несколько различными друг от друга, но эта разница так мало заметна, что обычными способами ее невозможно обнаружить. Мы можем представить себе смышленного и музыкального полисмена, который прислушивается к этому повышению тона, зная, что если он оценил его правильно, то он сразу может определить скорость автомобиля. Правда, мы можем попытаться надуть этого полисмена, если мы, проезжая мимо него, прибавим ходу и таким образом уменьшим кажущееся падение звука. Но при этом нужно быть осторожным и не переборщить, т.-е. мы должны следить, чтобы высота звука не осталась неизменной или, что еще хуже, чтобы она не повышалась. Я воображаю себе, что подумал бы полисмен в последнем случае. Если бы он очень строго придерживался

своих предписаний, то он должен был бы притти к заключению, что вопреки очевидности автомобиль катится назад.

Рассмотренное нами явление встречается также и при изучении света. Для света оно было объяснено восемьдесят лет тому назад Допплером. Так называемый принцип Допплера играет очень важную роль в астрономии. Если какая-нибудь звезда приближается к нам, то световые волны, которые она испускает, как бы напирают друг на друга, и тон света повышается, т.-е. спектральные линии несколько перемещаются вдоль спектра по направлению к его фиолетовому концу; измеряя это перемещение, мы можем вычислить, с какой скоростью приближается к нам звезда. На солнце часто имеют место грандиозные бури, и тогда массы горячего, раскаленного пара, вращаясь, перемещаются со скоростью нескольких сот километров в секунду. Скорость этих бурь в направлении наблюдателя может быть измерена, и можно проследить за их течением. Любопытно, что с помощью этого принципа очень легко найти скорость, с которой звезда приближается к нам или удаляется от нас, даже в том случае, когда эта звезда находится от нас так далеко, что ее движение поперек линии наблюдения почти незаметно. На земле мы имеем дело как раз с обратным явлением: мы можем определить скорость, с которой перемещаются отдаленные предметы, когда они движутся поперек линии наблюдения, а не вдоль ее.

К числу наиболее интересных городских звуков принадлежат отражения, которые имеют место в общественных зданиях и из-за которых бывает трудно расслышать оратора. Звуки, которые он произносит, кружатся в течение нескольких секунд по комнате и смешиваются с последующими словами. Стены, потолок и пол отражают звуки подобно тому, как стены нашего сосуда отражали водяные волны. Предположим, что какой-нибудь звук, например, получающийся при хлопаньи в ладоши, слышен свыше пяти секунд после того, как его произвели, — явление не вполне обычное. В продолжение этого времени звук проходит несколько более полуктора километра и отражается раз двенадцать. Звук в больших аудиториях и залах продолжается гораздо дольше, чем в небольшом пространстве, например, в комнате; потому что

здесь он имеет гораздо больше простора, в котором он блуждает, прежде чем отразится достаточное число раз и совершенно замрет. (Дело в том, что при отражении всегда происходит некоторое поглощение звука.) Если мы будем хлопать в ладоши в зале, в котором нет слушателей, и найдем, что эхо слышно в течение двух-трех секунд, то ясно, что этот зал не годится для публичных собраний. Поверхности в этом зале слишком хорошо отражают звуки, и для того чтобы возможно было слушать оратора, необходимо несколько ослабить их действие. Это можно сделать, покрыв стены и пол достаточным количеством материала, поглощающего звук: занавесками, коврами, войлоком и т. д.

В. К. Сабин (W. C. Sabine) произвел в Америке очень много опытов и пришел к некоторым определенным и очень простым заключениям. Он нашел, во-первых, что данное количество материала, например, столько-то квадратных метров ковров или занавесок, производит одинаковое действие вне зависимости от того, куда его помещают; да этого и следовало ожидать, так как звуки, продолжающиеся в течение нескольких секунд, должны были дойти до каждой части комнаты — стен, потолка, пола — и должны были рано или поздно наткнуться на этот материал. Во-вторых, он нашел, что если известен объем зала, природа и протяжение всех его поверхностей, то можно заранее вычислить, сколько времени будет в нем продолжаться звук. Таким образом, если дан объем зала, то мы можем узнать, сколько материала, поглощающего звуки, необходимо разместить в нем для того, чтобы отражения не мешали нам слушать ораторов.

Звуки бывают плохо слышны не только вследствие отражения. Может случиться, что пространство, которое наполняется звуками, слишком велико и звукам его трудно покрыть. В таком помещении звуки так же плохо слышны, как и на открытом воздухе.

Иногда сама форма здания такова, что звук исчезает в нем слишком быстро: в таком здании либо слишком много поглощающих материалов, или слишком много впадин и отверстий, в которые проходит звук и откуда он уже никогда не возвращается. Поэтому совершенно „мертвый“ зал также непригоден. Промежуток в две-три секунды между моментом, когда произведен какой-нибудь звук, например, хлопанье

в ладоши, и моментом, когда этот звук становится уже неслышным, не следует считать слишком большим, особенно, если опыт производится при отсутствии в зале людей. При отсутствии слушателей очень сильно ослабляет отражение. Зал для концертов должен гораздо лучше резонировать, чем зал для собраний.

Иногда наиболее неприятные особенности, которые встречаются при отражении звука, могут быть устранены без большого труда. В очень пустынной и обширной комнате в нижнем этаже консерватории в Аделаиде<sup>1</sup> было почти

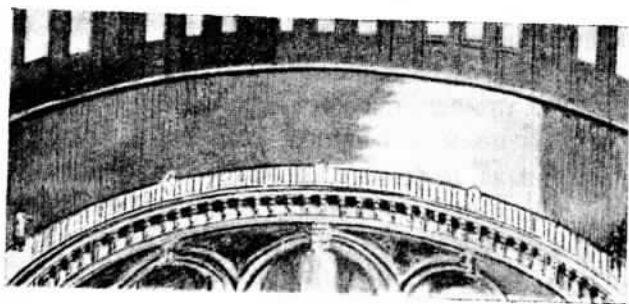


Рис. 43. „Галерея Шопота“ в соборе св. Павла.

совершенно невозможно слушать игру на пианино, так как комната резонировала пронзительно и резко. Из этой беды вышли, свесив с потолка поперек комнаты две-три полосы саржи шириною в полметра.

В некоторых зданиях отражение звуков стенами приводит к очень странным результатам. Один из наиболее известных примеров таких странных отражений звуков имеет место в „Галерее Шопота“ в соборе св. Павла. Если произнести что-либо шепотом у стены с одной стороны этого огромного здания, то этот шепот можно расслышать в любом месте у стены, даже с противоположной ее стороны; при этом необходимо только, чтобы слушающий находился достаточно близко у стены. Лорд Релей давно уже объяснил это явление тем, что звук ползет кругом с внутренней стороны этой изогнутой стены и непрерывно отражается ею, не отходя от нее нигде на большое расстояние. Позже, в 1904 году,

<sup>1</sup> Аделаида — главный город британской колонии в Южной Австралии.

*Прим. перев.*

он произвел в этой комнате опыт, подтвердивший его объяснение. Повторим этот опыт. Возьмем лист железа трех с половиной метров длины и полметра ширины, изогнутый в виде круглой арки; он представляет собою как бы кусок круглой стены галлерей. С одной стороны листа помещается свисток, а с другой стороны — чувствительная пламя. Когда свисток издает звук, то пламя начинает ярко гореть. Легко показать, что звук ползет вокруг внутренней стороны стены, находясь при этом все время вблизи нее: экран шириною в десять сантиметров, помещенный вблизи стены

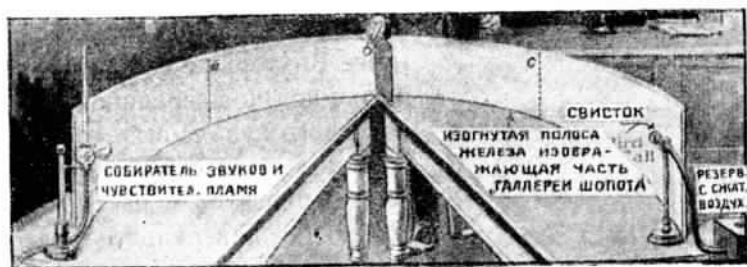


Рис. 44. Опыт с „Галлеей Шопота“.

в точке *b* (как у нас на рисунке), *a* или *c*, совершенно обрывает звук, и пламя перестает издавать яркий свет. Если отодвинуть экран на несколько сантиметров от стены, то звук, как это показывает пламя, проходит между ним и стеной. Итак, экран, где бы он ни находился, лишь бы только он был вдали от стены, совершенно не влияет на отражение звука; но в любой точке вблизи стены он действует совершенно одинаково.

Раньше чем лорд Релей дал это объяснение, он думал, что звуки, производимые в одном месте „Галлерей Шопота“, фокусируются находящимся над ней куполом и собираются в другом месте и что человек, который произносит шепотом звуки, и слушатель должны находиться в точности друг против друга. Однако оказалось, что нет никакой необходимости в том, чтобы человек, который шепчет, и слушатель находились в некотором определенном положении. Более того, выяснилось, что шепот слышен яснее обычного разговора, особенно если человек, который говорит, оборачивается вдоль галлерей по направлению к слушателю. Дело в том,

что шопот содержит большее количество высокочастотных звуков, чем обычный говор. Мы видели, что такие звуки не рассеиваются по сторонам, и, очевидно, их легче направ-

лять и за ними легче наблюдать. Вы легко можете расслышать шопот человека, находясь впереди него, но позади него вы почти ничего не расслышите; нельзя того же сказать о звуках, производимых обычным голосом.

Чайльд (Child) обратил мое внимание на замечательное эхо в музее Виктории и Альберта. Удар ноги о пол под серединой восьми-конечного купола вызывает очень большое количество отзвуков, которые доносятся от различных отражающих поверхностей, находящихся в строении самого здания.

Звон колоколов представляет очень интересный объект для изучения, но нам придется ограничиться разбором только нескольких относящихся сюда простых вопросов. Колебания колокола носят тот же характер, как и колебания, которые мы можем произвести в бискале, натирая его края мокрым пальцем или проводя по ним смычком. Здесь перед вами находится большая стеклянная чашка, опирающаяся на стеклянную подставку, которую употреблял Тиндаль. Четыре шарика из древесной сердцевины

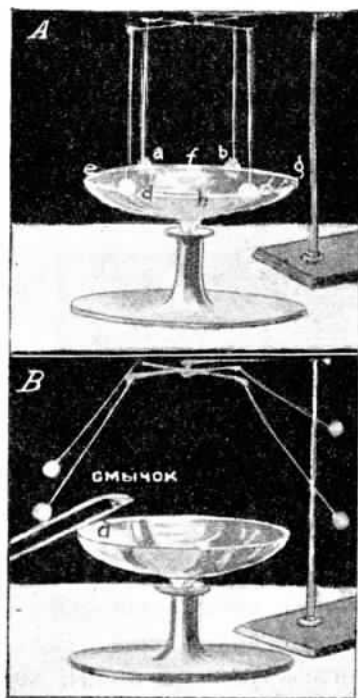


Рис. 45. Шарiki из древесной сердцевины, подвешенные на ниточках у краев чашки, отлетают от нее в сторону, когда поперек края чашки вблизи одного из шариков (около точек *a, b, c* или *d*) провести смычком. Если же провести смычком в одной из точек *e, f, g* или *h*, т.е. на полдороге между двумя шариками, то последние останутся в покое, так как они окажутся расположенными против „узлов“, т.е. точек покоя.

подвешены на тонких шелковых нитях и находятся на одинаковом расстоянии от краев чашки (рис. 45, А). С помощью смычка я получаю основной тон, и вы видите, как при этом шарiki отлетают от дрожащего стекла (рис. 45, В). Но этот эффект в очень сильной степени зависит от того, в каком месте чашк

я провожу смычком. Если я это сделаю на полдороге между двумя шариками, то они едва сдвинутся с места, потому что те места, в которых шарики касаются чашки, являются в этом случае узлами. Край вибрирующего колокола, изменяясь, принимает одну из тех двух форм, которые указаны на рис. 46 сплошными линиями. Здесь в четырех точках *a*, *b*, *c* и *d* происходят наиболее сильные колебания края, а в других четырех точках *e*, *f*, *g* и *h* край совершенно неподвижен. Одна из первых точек постоянно совпадает с тем местом, по которому проводят смычком, и, таким образом, если провести смычком по краю сосуда вблизи одного из шариков, то все шарики отлетают, но если то же сделать в середине между двумя шариками, то все они останутся в покое. Эти четыре точки *e*, *f*, *g* и *h*,

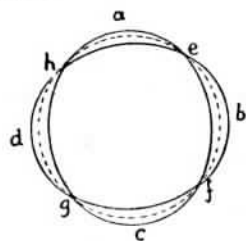


Рис. 46. Формы, которые принимает край колокола при своих колебаниях.



Рис. 47. Колебания столь сильны, что над поверхностью воды поднимается целый столб водяных капель.

находящиеся на краю колокола (или чашки), не остаются все время в одних и тех же местах, — они постоянно перемещаются вдоль края сосуда, то направо, то налево. Если мы будем натирать бокал мокрым пальцем для того, чтобы заставить его издавать звуки, то мы заметим, что как раз против того места, где находился палец, совершенно нет волн; это объясняется тем, что волны происходят вследствие движения стекла взад и вперед, а под тем местом, где мы проводили пальцем, вовсе нет таких дви-

жений. Смычком мы проводим поперек края чашки, а пальцем обычно вдоль этого края. Волны, возникающие при действии смычком, бывают иногда столь сильны, что над чашкой подымается целый столб водяных капель (рис. 47).

Когда мы приходим зимой по вечерам домой и присаживаемся к камину, то нас приветствуют приятные звуки пе-

ния чайника и шум, который производит огонь, устремляясь в трубу. Звуки эти очень интересны. Дно чайника, которого касается пламя, является наиболее горячей частью. Именно здесь с самого начала повышается температура воды и образуется пар. Небольшие пузырьки пара находятся сначала под достаточно большим давлением, чтобы противостоять давлению окружающей воды. Но когда они поднимаются вверх и переходят в более холодные части воды, их температура падает, а вместе с тем падает и их собственное давление. Наконец наступает момент, когда пузырьки не в состоянии выдержать окружающего их давления; они спадаются и делают это столь внезапно, что их стенки ударяются друг о друга с резким шелканием. Этот удар своей резкостью и упругостью сталкивающихся частиц напоминает удар двух кусков стали, а потому в чайнике поднимается шум, похожий на непрерывно следующие друг за другом удары крошечного молотка: ведь эти удары передаются водою металлическим стенкам, да и у самых стенок происходят такие же удары. С этим явлением мы встретимся снова, когда перейдем к рассмотрению подводных звуков. Чайник перестает петь, когда вся вода нагревается до точки кипения и пузырьки поднимаются на самый верх, не спадаясь по дороге.

Когда капли воды падают на поверхность достаточно горячую для того, чтобы превратить воду в пар, то они начинают шипеть. Вполне исчерпывающего объяснения того, почему это происходит, я не знаю. Шипение вызывается очень скорыми вращениями, так что в тех местах, где вода приближается к поверхности, так или иначе должны иметь место небольшие, но скорые колебания. Если вода в некоторый момент действительно касается поверхности, то при этом внезапно образуется пар; образование пара происходит столь стремительно, что оно напоминает собою маленький взрыв, который передается в виде резкой пульсации воздуха. Вода при этом поднимается вверх, затем падает, снова касается поверхности, и все повторяется сызнова. Несомненно, что объяснение шипения воды нужно искать во множестве очень маленьких взрывов, происходящих при соприкосновении воды с горячей поверхностью.

Когда сковорода стоит на печке и вокруг нее с шумом разлетаются брызги, то, как я думаю, звук происходит вслед-

ствие взрывов небольших капель воды. Температура растопленного сала гораздо выше температуры кипящей воды. Однако небольшие капли воды остаются взвешенными в сале в жидком состоянии, хотя они должны были бы превратиться в пар при более низкой температуре. Каплю, оказывается, необходимо привести в движение для того, чтобы она превратилась в пар. Когда работающий в лаборатории замечает, что температура воды или какой-нибудь другой жидкости перешла за точку кипения и все же она не кипит, то он опускает в нее свинцовую дробь, стеклянные бусы или какое-нибудь тело, имеющее шероховатую поверхность, и это тело вносит в эту жидкость несколько небольших воздушных пузырьков, после чего жидкость сразу закипает. Но небольшие капли воды, которые содержатся в растопленном сале, окружены очень гладкой оболочкой, и часто бывает, что их температура продолжает подниматься, хотя она уже на много превысила точку кипения. Но та или иная причина выводит каплю из покоя, и последняя начинает так быстро кипеть, что это ее внезапное превращение в пар производит эффект, подобный взрыву.

Теперь нам также вполне понятно и завывание в пустых дымовых трубах: ветер, проносясь над отверстиями труб, производит шум, подобно тому как мы производили звук дутьем над концом пустой трубки: ветер завывает глухо (т.-е. тон его звуков очень низок) по той причине, что дымовые трубы очень длинны. Пламя в печке производит неясный шум потому, что, поднимаясь вверх, раскаленные газы колеблются взад и вперед и разрывают воздух на множество небольших вихрей. Каждый из этих шумов сам по себе не особенно силен, но пламя и труба в соединении дают, при некоторых определенных условиях, очень громкие звуки; эти условия в жизни встречаются далеко не часто, но мы можем их легко создать и получить таким образом очень интересные и поучительные результаты.

Разрешите мне сначала описать очень старый и простой опыт. Здесь перед вами (рис. 48) находится стеклянная трубка длиною в сорок пять сантиметров и диаметром в один сантиметр, а также и длинная, суживающаяся кверху газовая горелка, на конце которой видно небольшое пламя. Я накрываю пламя трубкой, и когда это пламя находится на

расстоянии восьми-десяти сантиметров от основания трубки, то оно начинает петь, т.-е. издает ровный звук определенной высоты. Такое пламя часто называют поющим пламенем. Высота этих звуков как раз совпадает с тоном, который

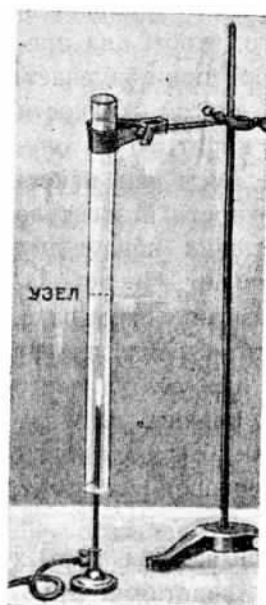


Рис. 48. Поющее пламя.

издает трубка, когда внутри нее имеют место наиболее простые из возможных в этом случае колебаний воздуха. В середине трубки находится узел, или точка покоя, между тем как у обоих концов воздух то входит в трубку, то выходит из нее. Это движение должно быть значительно, так как звуки при этом слышны довольно громко. Теперь постараемся объяснить, каким образом пламя поддерживает колебание. Оказывается, что пламя само колеблется и попеременно то на момент вспыхивает и становится большим и горячим, то потухает и становится слабым и несколько более холодным. Скорость этих колебаний пла-

мени всегда совпадает со скоростью колебаний воздуха в трубке; причина этого совпадения заключается в том, что пламя, вспыхивая, сообщает избыток своего тепла воздуху, заставляя его таким образом расширяться и выходить из трубки как раз в тот момент, когда сам он стремится к тому же. Я хочу уяснить это на простом примере. На рис. 49 показан шар, содержащий воздух и прикрепленный с помощью

пробки к одному концу U-образной трубки, которая содержит ртуть. Внутри шара находится спираль из тонкой платиновой проволоки, сквозь которую пропускают электрический ток, раскаляющий ее докрасна. Ток от одного конца

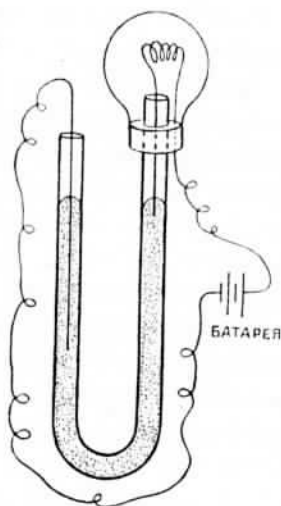


Рис. 49. Модель, иллюстрирующая действие поющего пламени.

батарей протекает сначала сквозь проволоку, вдетую в пробку, затем через спираль, и идет через проволоку, погруженную в ртуть, дальше внутрь U-образной трубки. Затем ток проходит через ртуть, выходит из трубки через погруженную в нее проволоку и возвращается назад к батарее.

Как только ток в батарее замыкают, спираль становится горячей, воздух внутри шара нагревается и, расширяясь, начинает давить на соприкасающуюся с ним ртуть. Ртуть опускается вниз, и когда она перестает соприкасаться с проволокой, — электрический ток прерывается. Тогда спираль охлаждается, воздух сжимается, ртуть возвращается назад, и все повторяется сызнова. Как вы видите, ртуть очень скоро начинает сильно колебаться. При этом нужно обратить внимание на то обстоятельство, что благодаря теплоте мы заставили воздушную массу регулярно колебаться. То же самое происходит в поющем пламени. Но в трубке со ртутью движение происходит настолько медленно, что мы можем следить за ним и таким образом уяснить себе, почему теплота поддерживает колебание в трубке, а также найти условия, при которых это происходит. Этот принцип имеет такое большое значение, и в других случаях так часто встречаются аналогичные явления, что он заслуживает того, чтобы его тщательно исследовали.

Очень важно отметить, что теплота сообщается воздуху в шаре главным образом тогда, когда воздух расширяется. Теплота заставляет воздух расширяться, к чему он и без того всегда стремится, и поэтому движение воздуха усиливается. Точно так же, если мы заставим какое-нибудь тело колебаться и будем ему давать толчки в направлении его движения, то размах его качаний будет увеличиваться; если же мы будем давать этому телу толчки в сторону, противоположную направлению его движения, то оно рано или поздно остановится. Для того чтобы сделать свое объяснение цельным, я, раньше чем приложить это замечание к предъидущему опыту, хочу оговорить некоторые вещи. Я сказал, что тепло передается шару главным образом, когда воздух расширяется; делать такое утверждение очень трудно, потому что трудно определить, когда именно начинается и кончается передача тепла. Поэтому, говоря о поющем

пламени и об аналогичных явлениях, необходимо употреблять слово главным образом.

Спираль начинает нагреваться, как только ртуть в правом колене трубки, поднимаясь вверх, касается проволоки, но тем не менее ртуть все еще продолжает некоторое время подниматься, и воздух продолжает сжиматься. Тем хуже. Тепло сообщается воздуху тогда, когда он стремится сжаться. Но спираль не нагревается сразу; более того: при последующем опускании ртути проволока остается еще горячей в течение очень небольшого промежутка времени после того, как ток прерывается. Таким образом в итоге воздуху передается гораздо больше тепла, когда он расширяется, чем когда он сжимается. Для того чтобы движение поддерживалось, абсолютно необходимо, чтобы все происходило так, как только что описано.

Рассмотрим теперь, каким образом все такие колебания происходят в поющем пламени. Когда воздух в трубке колеблется, то светильный газ в ответ на эти колебания также начинает колебаться в подводящей трубке и начинает выходить из нее порывами. Таким образом пламя попеременно то усиливается, то ослабляется. Газ стремится быстро выйти, когда воздух в нижней половине трубки движется вверх, и находится в той стадии колебания, когда он стремится к узлу, находящемуся в середине трубки, а воздух, находящийся в верхнем конце трубки, движется вниз к тому же узлу. Как в нашей модели, так и здесь теплота вспыхивающего пламени передается воздуху главным образом тогда, когда он удаляется от узла; итак, когда воздух и без того расширяется, пламя его как бы подталкивает, и этим объясняется, почему колебания непрерывно продолжаются.

Теперь сделаем опыт с трубкой, имеющей довольно большую величину и несколько более похожую на действительную дымовую трубу. На рис. 50 показана такая труба, имеющая около пяти метров в длину. Она подвешена в вертикальном положении к потолку и устроена таким образом, что мы можем удобно ввести в нее пламя бунзеновской горелки. Эта горелка специально для этой цели удлинена. Уже при приближении горелки к отверстию трубы мы слышим шум, который производит пламя, сильно колеблясь и разрываясь на части тягой, которая стремится теперь

вверх по трубе. Этот шум напоминает собою завывание, происходящее в дымовой трубе, когда горит печь. Но когда мы вводим газовую горелку достаточно глубоко в трубу, например на расстояние в полметра от ее отверстия, то получающийся при этом эффект, который я пытался объяснить, сам по себе нас очень сильно поражает: в трубе раздаются раскаты грома.

Рядом с этой трубой висит другая труба, которую можно также заставить петь, но несколько другим способом. На расстоянии около сорока пяти сантиметров от ее отверстия находится кусок тонкой металлической решетки; в трубу вводят газовое пламя, которое подымается достаточно высоко, чтобы довести металлическую решетку до красного каления. Теперь мы удаляем пламя, и несколько секунд спустя труба начинает издавать сильные ровные звуки, которые продолжают в течение минуты или более. В этом случае воздух, устремляющийся за решеткой по направлению к узлу, в то время когда воздух в каждой половине трубы движется к ее середине и образует там сгущение, — заимствует тепло у решетки, проходя мимо нее. Но можно сказать, что то же получается и при второй фазе колебания, когда воздух расширяется и, таким образом, тепло передается металлической решеткой одинаково сильно, когда нужно и когда не нужно. Мы должны, однако, принять во внимание, что все это время в трубе имеется тяга вверх и в действительности воздух движется скачками. Всякий раз новая струя воздуха проходит мимо металлической решетки и переносит тепло в середину трубы.

Ночью в доме бывают слышны странные скрипы: большинство из них происходит благодаря изменению темпера-

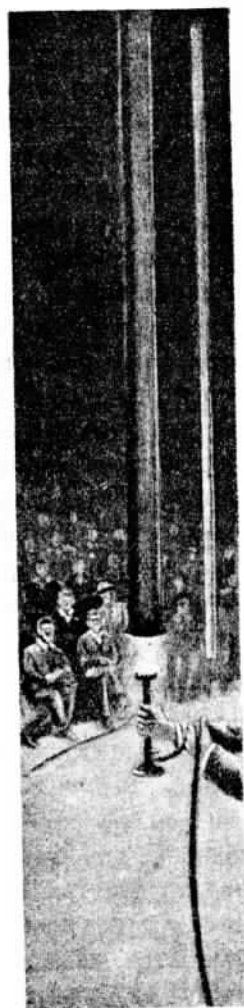


Рис. 50. Опыт с большой поющей трубой.

туры. Некоторые части дома сжимаются при охлаждении больше, чем другие, вследствие чего устанавливается натяжение, которое внезапно прорывается. В жарких странах, где крыши делаются из волнистого железа, звуки, происходящие вследствие сжатия крыши, составляют обычное явление. Иногда слышен скрип сковороды после того, как ее снимают с огня, или шум золы, которая остывает на решетке. В Египте вблизи Люксора находится большая статуя, которая в начале нашей эры издавала звуки рано утром, когда на нее падали первые солнечные лучи. Уже во времена римлян она представляла собою руину. Теперь предполагают, что звуки происходили вследствие трения одного камня о другой, так как солнечная теплота заставляла камни расширяться и получавшееся при этом натяжение должно было в конце концов прорваться. Известные археологи расходятся в этом вопросе: некоторые из них утверждают, что эти звуки производил спрятанный внутри статуи жрец. Но я думаю, что вначале это явление должно было происходить естественно. Правда, жрец мог в этом случае помогать природе, когда вблизи находился важный посетитель, желавший расслышать эти звуки, и было необходимо, чтобы он не разочаровался.

---

## ЗВУКИ ДЕРЕВНИ

В деревне много очень интересных звуков; в некотором отношении эти звуки даже интереснее всех остальных, так как они в большинстве своем представляют собою или те самые естественные звуки, благодаря которым наши уши научились слышать, или же являются сигналами, которые подают друг другу живые существа, уровень развития которых соответствует тонкости их слуховых восприятий. Обращаясь к деревенским звукам, мы первым делом вспоминаем о пении птиц, о звуках, издаваемых насекомыми, и о реве животных. Пение птиц связано с очень многими вопросами, на которых мы не будем останавливаться, так как они слишком трудны, чтобы о них можно было рассказать в тот небольшой промежуток времени, который находится в нашем распоряжении. Однако есть одно обстоятельство, о котором я хочу упомянуть. Мы не знаем фактически, слышим ли мы все те звуки, которые издают птицы; наши уши воспринимают звуки только в определенных пределах и не чувствительны к звукам, которые выше некоторых определенных тонов. Слуховые способности различных людей различны и ослабевают со старостью. Слышим ли мы, например, все те звуки, которые издает королек или черный дрозд? Уилкинсон (Wilkinson), слепой натуралист из Лидса<sup>1</sup>, о котором я здесь кое-что расскажу, думал, что пение птиц иногда выходит за пределы наших слуховых способностей. Мы знаем, например, что некоторые не могут расслышать писка летучей мыши или пронзительного крика цикады. Да и, в конце концов, птицы ведь не поют ради нашего удовольствия, а друг для друга, а потому нет никакой причины полагать, что они приспособляются к нашим ушам.

---

<sup>1</sup> Лидс — очень крупный промышленный город в юго-восточной Англии, графстве Йорк. *Прим. перев.*

Много звуков, которые издают насекомые, мы можем понять с помощью тех простых основных положений, которые мы уже рассмотрели. Насекомое во время полета так быстро ударяет крыльями, что происходит последовательность небольших пульсаций воздуха и эти пульсации соединяются в музыкальный тон, — вот вам очень простая иллю-



Рис. 51. Правое крыло кузнечика. Буква Г указывает место, где находится буген.

страция того, как можно произвести звук определенной высоты. Некоторые насекомые производят звук именно так, как мы это сами делали, когда держали картон против зубцов вращающегося колеса. Возьмем, например, одного из членов семейства кузнечиков. На конце одного из надкрыльев у него имеется шероховатый зазубренный край, похожий на притупленную пилу, на другом его конце находится острое ребрышко, расположенное таким образом, что когда одно надкрылье движется над другим, то зубцы „пилы“ быстро проходят по ребрышку. Каждый раз, когда это ребрышко скользит по зубцу и попадает в ближайшее углубление, всему крылу сообщает-ся небольшое сотрясение, которое переходит в воздух в виде пульсации. На крыле находится маленький и очень красивый тамбурин; вы его можете видеть на крыле, которое представлено на экране (рис. 51).

Этот тамбурин, повидимому, предназначен для того, чтобы лучше передавать воздуху пульсации. Ровная поверхность тамбурина колеблется как одно целое вверх и вниз, когда находящееся сбоку ее ребрышко сотрясается и служит резонирующей поверхностью, которая распространяет по воздуху большое — по сравнению со своими размерами — количество звуков. Дело в том, что если мы увеличим картон, который мы прижимаем к зазубренным колесам, то сила звука также увеличится, хотя тон его при этом не изменится.

Сверчок также обладает похожим на это приспособлением.

Рис. 52 представляет в увеличенном виде „смычок“ домашнего сверчка. На нем видны небольшие зубцы, соответствующие

щие зубцам колеса, которым мы пользовались во время опыта. На рис. 53 показан „смычок“ полевого сверчка; его небольшие выступы более гибки и находятся дальше друг от друга, а потому он издает менее громкий треск, тон которого несколько ниже.



Рис. 52. „Смычок“ домашнего сверчка.

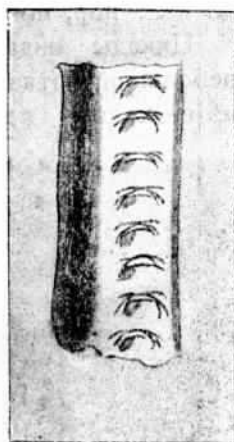


Рис. 53. „Смычок“ полевого сверчка.

У насекомых, которые издают треск, все части тела снабжены „смычками“ и краями, по которым они проводят своими „смычками“. Здесь, например, перед вами находится небольшой жук, называемый *Cacicus Americanus*, у которого, как это

видно на нашем снимке (рис. 54), зазубренные поверхности искусно пригнаны друг к другу. Сбоку у насекомого находится темная полоса, которая при внимательном рассмотрении даже невооруженным глазом представляется в виде ряда правильных ребрышек. Вдоль ножки жука находится соответствующий ряд жилок, которые принорованы к боковым ребрышкам, и, действительно, эти последние устроены так, что когда ножка движется вдоль их, направление затвердения на ножке всегда совпадает с направлением боковых затвердений в тех местах, где они касаются друг друга<sup>1</sup>. Другие насекомые снабжены щетиною, которая при движении головы действует точно так



Рис. 54. Жук, который производит звуки трением пилек, находящихся на его ногах, о пилки, находящиеся у него на теле.

<sup>1</sup> За иллюстрации и за очень многие сообщения, сделанные очень любезно, я обязан доктору Гагану (*Gahan*) из музея естествознания.

же, как действует небритый подбородок человека, когда его тереть о твердый воротник. Я читал об одном наблюдателе, который, желая узнать, какие члены насекомого производят этот треск, обмазывал маслом насекомое в различных местах до тех пор, пока этот треск не прекращался.

Цикады издают звук другим способом. Они снабжены небольшой натянутой перепонкой, к которой вблизи одного из ее концов прикреплен мускул. Заставляя этот мускул

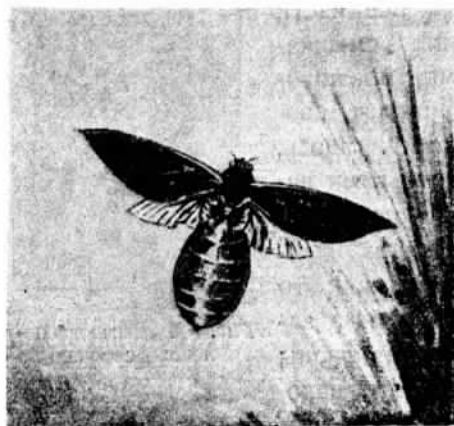


Рис. 55. Цикада, растягивающая свое брюшко и использующая его в качестве резонирующей поверхности.

дрожать, они вызывают колебания перепонки. На нашем рисунке (рис. 55) представлена замечательная австралийская разновидность цикад, которую квинслендские<sup>1</sup> мальчики называют „пустым брюхом“. Существует игрушка, которая производит звук почти таким же образом, как и цикада. Для устройства этой игрушки нужно привязать кусочек пергамента поперек отверстия короткого куска трубки — небольшого ку-

ска жести, согнутого в виде цилиндра длиной в три-четыре сантиметра и диаметром в два сантиметра (рис. 56). В середине пергамента прикрепляют веревку и по ней проводят пальцами. Пальцы при этом необходимо немножко обмазать смолой. Таким образом получается поразительно громкий звук, напоминающий звук „клаксона“ — автомобильного гудка. Австралийское насекомое — только самец цикады производит этот шум — очень сильно растягивает свое брюшко, благодаря чему он и получил свое местное название. Вероятно, он стремится увеличить звук не потому, что внутренность его брюшка резонирует на произведенный им шум, а потому, что легкое тело его колеблется вместе с перепонкою, и благодаря этому распространяются по воздуху очень сильные пульсации.

<sup>1</sup> Квинсленд — британская колония в Австралии, почти в шесть раз больше Соединенного Королевства Британии и Ирландии. *Прим. перев.*

Существует небольшой жук, известный под названием „часовщика“, который производит однообразные звуки, пугающие суеверных людей. Звуки, которые производит это маленькое насекомое, представляют собою сигналы, посылаемые другому такому же насекомому. Для этой сигнализации „часовщик“ избрал очень простой способ. Он живет на дереве и сигнализирует, постукивая по нем. Мы, повидимому, будем очень близки к истине, полагая, что благодаря дереву звуки этих ударов так хорошо разносятся. На наших рисунках (рис. 57 а и б) показано, каким образом этот жук производит свои постукивания. Д-р Гаган сооб-



Рис. 56.

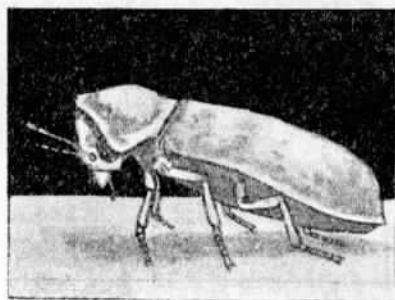


Рис. 57 а. „Часовщик“, приготавливающий шелкнуть своей головой.

шил мне, что он держал у себя долгое время одного из этих жуков и легко заставлял его отвечать на удары карандаша о стол<sup>1</sup>.

Методы и приспособления, с помощью которых различные насекомые производят свои шумы, весьма разнообразны и очень интересны, но натуралист должен о них рассказывать очень пространно, так как они в сильной степени зависят от того, каким именно образом они устроены в каждом отдельном случае, а это зависит, в свою очередь, от образа жизни и происхождения данного насекомого. Существуют, например, личинки, которые имеют задние ножки, приспособленные исключительно для того, чтобы производить шум, скребя по определенным шероховатым поверхностям на средних ногах. Задние ноги их имеют такие размеры и такую

<sup>1</sup> Gahan. Transactions Entomological Society. London 1900. Стр. 445.

форму, что они производят это очень хорошо, и не в состоянии делать ничего другого. Они могут производить только простейшие движения взад и вперед, похожие на движения правой руки негра-музыканта, играющего на баньо<sup>1</sup>.

Существуют насекомые, которые, если можно так выразиться, играют на духовых инструментах: таковыми, например, являются синевато-металлическая муха и „голова смерти“. Существуют также и бабочки, которые производят звуки, как об этом рассказывает Дарвин в описании своего путешествия по югу Америки. В Японии живут насекомые,

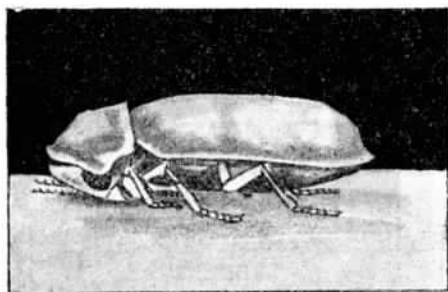


Рис. 57 в. Часовщик, производящий шелчок: момент удара.

которые издают настолько приятные звуки, что японцы вскармливают их и торгуют ими. Здесь перед нами открывается большая, полная интереса страница из жизни природы, о которой очень мало систематически писали. Я утверждаю, что по этому вопросу не вышло ни одной книги с тех пор, как

Ландуа написал в 1874 году „Голоса животных“ (Landois, Die Tierstimmen).

Звуки, которые производит ветер, кажутся нам наиболее сильными в деревне звуками. Это происходит потому, что наши уши приспособлены специально для того, чтобы улавливать вибрации или колебания воздуха; подобные колебания воздуха происходят, когда ветер дует над деревьями, или между заборами, или над возвышенностями и углублениями почвы. Мы рассмотрим два случая, когда звуки возникают благодаря ветру, и, тщательно исследовав их, сумеем понять этот вопрос во всем его объеме. Вообразим себе постоянный воздушный поток, который встречает препят-

<sup>1</sup> Баньо, или банжо — очень распространенный у негров инструмент, имеющий от 5 до 9 струн. Баньо имеет длинный гриф, подобно гитаре; верхняя часть кузова обтянута кожей, как у барабана, нижняя же часть совершенно открыта. Самый процесс игры на баньо очень похож на игру на гитаре. *Прим. перев.*

ствие, например ветку дерева или заборную проволоку. Можно подумать, что такой поток просто разделится на две части, а потом снова соединится, оставляя за собой небольшой задний пограничный слой, — как мы его будем называть, — позади препятствия. Но если скорость воздуха достаточно велика, то при этом происходит нечто более сложное и более интересное. Сначала с одной, а потом и с другой стороны пограничного слоя образуются небольшие воздушные вихри, как это видно на рис. 58; они распространяются вместе с ветром, и таким образом образуется длинный двойной ряд, при чем вихри, расположенные с различных сторон препятствия, вращаются в противоположные стороны. Таким образом в потоке, который проходит около препятствия, возникают колебания то в одну, то в другую сторону, и это происходит даже тогда, когда препятствие совершенно неподвижно.

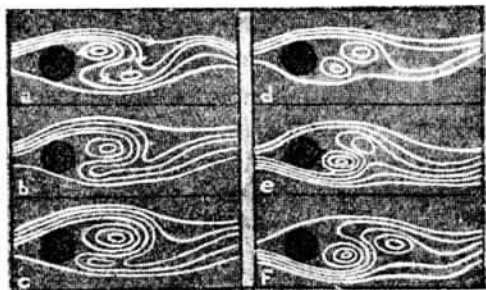


Рис. 58. Эти шесть чертежей показывают, как образуются воздушные вихри, когда ветер дует мимо проволоки. Вихри, как видно из последовательно расположенных чертежей, образуются попеременно то с одной, то с другой стороны проволоки.

(Чертеж взят из 332 доклада совещательного комитета по аэронавигации.)

Каждый раз, когда происходит это колебание воздушного потока из стороны в сторону, окружающему воздуху сообщается импульс и во все стороны начинает распространяться пульсация, или волна. Если при этом вблизи находится чье-либо ухо, то часть пульсаций ударяется о барабанную перепонку и передается механизму, с которым последняя соединена. Как мы уже видели, одна только подобная пульсация не может создать у нас впечатления звука. Но если несколько пульсаций следуют друг за другом в правильной последовательности и ударяются о нашу барабанную перепонку через равные промежутки, то мы слышим звук определенной высоты.

Таким образом, когда ветер дует мимо проволоки или мимо ветки, он образует регулярную последовательность небольших вихрей, и по воздуху распространяется регуляр-

ная последовательность пульсаций. Эти последние, достигнув нашего уха, вызывают в нем благодаря своей регулярности звук определенной высоты. Вот каким образом происходит завывание ветра.

Известно, что число пульсаций, которые происходят каждую секунду, когда ветер дует мимо проволоки или какого-либо другого цилиндрического тела, приблизительно равно одной пятой частного от деления скорости ветра на диаметр проволоки. Предположим, что скорость ветра равна 12,5 км в час, т. е. 3,5 м в секунду, и что диаметр проволоки равен 5 мм. Тогда частное от деления скорости на диаметр будет равно 700, а число пульсаций будет приблизительно равно 140. Звук, который при этом происходит, соответствует обычному тембру мужского голоса. Если ветер дует в два раза скорее, или если препятствие имеет в два раза меньший диаметр, то получаются звуки на октаву выше и т. п. Когда мы летом лежим на тонкой, сухой, расстилающейся по земле траве, то в наших ушах непрерывно стоит шум, похожий на очень высокое посвистывание: тон этого посвистывания так высок благодаря тому, что стебельки травы очень тонки. Когда зимой ветер завывает меж обнаженными ветвями деревьев, то он распадается на целый ряд вихрей, следующих друг за другом с достаточной регулярностью, чтобы давать известные тона; но этих тонов так много и они настолько часто изменяются, что все эти звуки сливаются вместе в один сплошной шум, в котором нельзя отличить отдельных тонов. Когда происходит особенно сильный порыв ветра, то тона всех этих звуков сразу повышаются, и шум ветра переходит в пронзительный свист.

Это замечательное разделение струи, которое сопровождается вихрями, является причиной многих аналогичных явлений. Когда образуются вихри сначала с одной стороны, а потом с другой, то неравномерный поток воздуха, который обходит препятствие то справа, то слева, стремится расшатать последнее и заставить его колебаться поперек воздушной струи. Этим и объясняется, почему колеблется подставка, в которую вставлено древко флага, и самое это древко, в то время как сам флаг треплется, при чем мы почти можем заметить, как вихри один за другим ударяются о полотно. В потоке воды можно наблюдать точно такие же

явления, как и в потоке воздуха. Когда вода протекает с достаточной скоростью у свай, то в ней также образуются вихри (водовороты). Когда лодка бросает якорь в канале, то якорная цепь колеблется из стороны в сторону: леска, когда какая-нибудь тяжесть погружает ее в текущие воды, также начинает дрожать. Если мы будем держать палку и рассекать ею воду позади лодки, то, несмотря на все наши усилия держать ее неподвижно, она будет качаться из стороны в сторону. Во всех этих случаях колебательное движение происходит поперек струи.

Когда случается, что тон, который производит воздух и высота которого зависит только от скорости воздуха и от размеров препятствия, совпадает с собственным тоном препятствия, то происходит очень сильный резонанс, и звуки начинают раздаваться громко. Вот почему телеграфные провода при ветре поют. Музыка эоловой арфы происходит также благодаря



Рис. 59. Эолова арфа.

этому явлению. А может быть вы не знаете что это такое „эолова арфа“? Так называется прибор, в котором большое число проволок, натянутых на звучащую доску и настроенных в один и тот же очень низкий тон, помещаются таким образом, чтобы ветер мог дуть поперек них. Когда ветер дует над арфой, то, как мы видели, „тон ветра“ для данной струны зависит от толщины этой струны и от скорости самого ветра. Струны имеют различную толщину и, таким образом, издают одновременно звуки различной высоты. Если какой-нибудь из этих тонов совпадает с одним из собственных тонов, иначе говоря, с одним из обертонов струны, то эти обертоны начинают громко звучать. Иногда одновременно раздаются обертоны одной струны и обертоны другой струны. Все обертоны всех струн гармоничны друг другу, так как все струны настроены на один и тот же и притом очень низкий тон, так как заметили, что ветер может издавать основные тоны тем легче, чем ниже тон всей струны. Музыка эоловой арфы имеет некоторые своеобразные странности, так как между основными тонами находятся некоторые, которые получаются при делении

струны на семь частей и которые отсутствуют в нашей музыкальной гамме.

Лорд Релей употреблял очень простой метод для того, чтобы иллюстрировать это попеременное деление струн. Мы теперь воспроизведем его опыт. Он ставил чашку с водой на вращающуюся подставку и заставлял ее вращаться с равномерной скоростью; этого можно достигнуть с помощью маленького электромотора (рис. 60). Над водой вблизи одного края чашки находится маятник, нижний

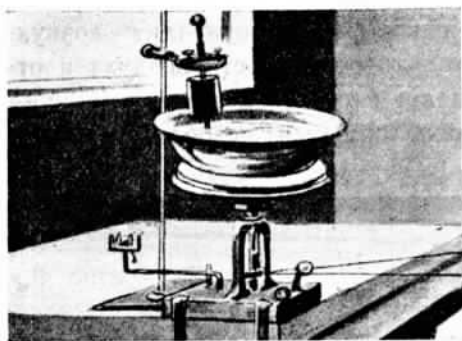


Рис. 60. Опыт Релея с вращающейся чашкой. Движение воды заставляет маятник колебаться в плоскости, перпендикулярной к направлению движения.

конец которого погружен на три-четыре сантиметра в воду. Маятник устроен таким образом, что он может качаться только поперек того направления, в котором происходит движение воды. Мы пускаем мотор, и чашка сразу же начинает вращаться; но раньше чем это движение сообщается воде, находящейся внутри нее, проходит минута или две. Воды начинает сначала дви-

гаться у краев чашки, а затем это движение постепенно передается внутрь, по направлению к центру. Спустя некоторое время, вся вода вращается так, как будто она составляет часть чашки. Между тем маятник начал уже качаться из стороны в сторону, что мы и должны были ожидать. Даже в то время, когда маятник еще находился в покое, попеременное деление струи, сопровождавшееся образованием вихрей, начало происходить, как только вода стала двигаться с достаточной скоростью. Время колебания водяной струи около маятникового стержня становилось все меньше и меньше, по мере того как движение воды ускорялось. Маятник имеет свой собственный период качания, который мы при желании можем изменять, меняя положение скользящего по нем подвеса. Мы предварительно регулируем время качания маятника и скорость электромотора таким образом, чтобы первый двигался несколько медленнее, чем происходит деление струи, когда

вода двигается с наибольшей скоростью. Итак, когда мы наблюдаем за тем, как скорость воды увеличивается, то наступает момент, когда импульсы, сообщаемые разделяющейся струей маятнику, как раз созпадают с собственными колебаниями маятника, и тогда, как мы видим, его колебание из стороны в сторону становится довольно значительным. Если чашка начинает вращаться слишком скоро, то колебания маятника снова уменьшаются; таким образом мы находим ту скорость, которой соответствуют наиболее сильные колебания.

В этом опыте мы на маятнике действительно наблюдаем боковые движения, которые происходят так, как я их описал, но скорость этих движений настолько мала, что за ними легко можно проследить. За образованием вихрей можно легко проследить, посыпав на воду небольшое количество легкого порошка; мы наблюдаем, как вихри образуются то с одной стороны, то с другой. При этом нужно помнить, что, во-первых, вихри имеют место вне зависимости от того,

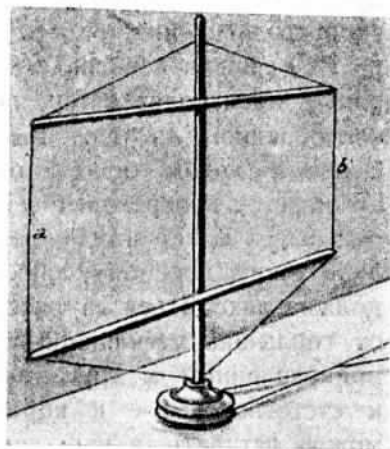


Рис. 61. Прибор Стругаля для объяснения и демонстрирования свиста ветра. Проволоки *a* и *b* могут иметь различные диаметры; в этом случае они издают звуки различной высоты.

колеблется маятник или нет, и, во-вторых, что при соответствующей скорости потока маятник отвечает очень сильно. Наш опыт показывает два факта: во-первых, что когда ветер дует мимо проволоки, то он вызывает звук определенной высоты, даже в том случае, если эта последняя остается неподвижной; и, во-вторых, что если эта проволока в состоянии двигаться и имеет соответствующий собственный период колебания, то она издает очень сильные звуки. Это, например, происходит в телеграфных проводах.

Немецкий экспериментатор Стругаль (Strouhal) исследовал сорок лет тому назад звуки, которые производит ветер, несколько другим способом. Я сделал здесь точно такой же прибор (рис. 61), каким он пользовался, и с по-

мощью этого прибора мы можем повторить некоторые из опытов Стругалья. Прибор этот состоит из брусков, связанных наподобие мачты и реек и укрепленных на вращающейся подставке таким образом, что все это вертится с довольно большой скоростью. К брускам прикреплены одна или несколько вертикальных проволок. Когда этот прибор приводят в движение, то слышно посвистывание, происходящее благодаря быстрому движению проволок в воздухе. Взяв другую, более толстую проволоку, мы при той же скорости вращения прибора получим звук, тон которого ниже.

Релей для непосредственного слушания тех звуков, которые производит ветер, пользовался очень простым приспособлением, которое мы можем сами легко соорудить. Возьмем кусок стеклянной трубки, один конец которой суживается и переходит в горлышко, как это показано на рис. 62, и прикрепим к нему кусок миллиметровой проволоки таким способом, как это сделано там; эта проволока должна находиться на расстоянии пяти-шести миллиметров от горлышка стеклянной трубки. Кусок резиновой трубки, прикрепленный к другому концу стеклянной трубки, ведет к стетоскопу, т.е. к короткой гладкой трубке, которую можно вставить в ухо; впрочем можно резиновую трубку и непосредственно приложить к уху. Если теперь держать проволоку в том месте, где происходит тяга, например у слегка приоткрытой двери или окна, то можно очень легко расслышать звуки, которые производит ветер. Правда, проволока в этом случае не колеблется, так что здесь совершенно не происходит резонанса, как это имеет место в эоловой арфе. Наш прибор должен быть обращен по направлению к тяге так, чтобы вихри, после того как они образуются у проволоки, попадали в отверстие трубы. Если придать прибору иное положение, то мы не уловим никакого звука, так как отверстие трубы находится теперь слишком далеко от того места, где образуются пульсации, а пульсации, которые проникают в трубку, слишком слабы, чтобы произвести заметный эффект. Наша проволока может быть заменена другой проволокой с другим диаметром, для того чтобы проследить, какое при этом произойдет изменение высоты звука; на основании этого изменения высоты звука можно также узнать, с какой скоростью дует ветер.

Ветер производит звуки также и другим способом: он шевелит листья на деревьях и заставляет их, ударяясь друг о друга, шелестеть. Когда они при этом трутся друг о друга, то они слегка содрогаются, и наше ухо способно уловить колебание, сопровождающее это их содрогание.

Каким образом листья шелестят, когда дует ветер, можно изучить, бросая различной формы бумажки на землю. Эти бумажки, падая, сами производят ветер. Когда плоский кусочек бумажки, длина которого в два или три раза больше его ширины, спускается на землю, то можно ясно видеть, как он начинает равномерно вращаться и падает на землю так, как будто он представляет собой колесо, катящееся по нижней стороне наклонной плоскости. Дело в том, что когда кусочек бумаги скользит вниз и в сторону, передняя его часть несется по воздуху, который все еще находится в покое, в то время как задняя его часть упирает-

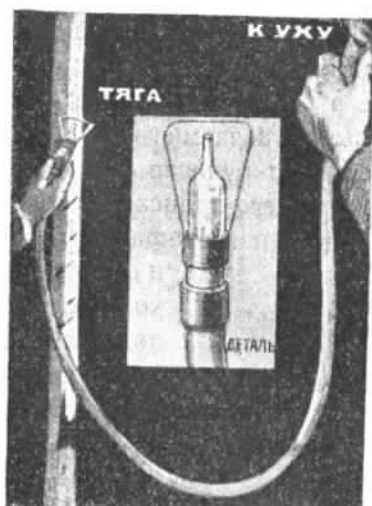


Рис. 62. Упрощенный прибор лорда Релея для слушания „тонов ветра“. Проволока помещается у полурастворенной двери, где происходит тяга; попеременно образующиеся с обеих сторон проволоки вихри посылают воздушные пульсации в трубку, которая передает их уху.

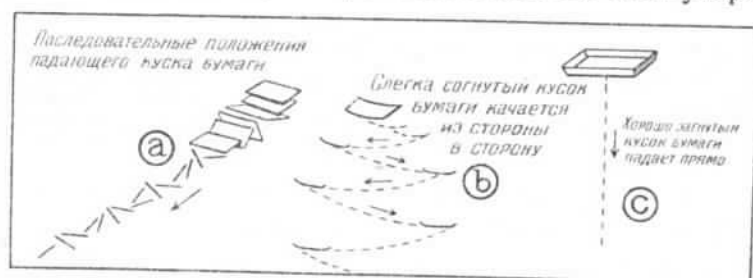


Рис. 63. Куски бумаги различной формы, падающие на землю.

ся в воздух, который уже начал увлекаться движением куска бумаги. Передняя часть вследствие этого приподнимается и начинает „рыскать“ под ветер: бумага поднимается вверх, остано-

вливается и снова начинает падать задним концом вперед. „Рев быка“ первобытных людей, живущих в Австралии, действует так же, как и эти кусочки бумаги. „Рев быка“ представляет собой кусочек дерева дециметра два-три в длину и сантиметра три-четыре в ширину. Раскачивая его на веревке длиною, скажем, в метр, мы заставляем его быстро-вращаться, при этом закручивается сама веревка. Движения его происходят точно так же, как и движения вращающихся кусков бумаги,

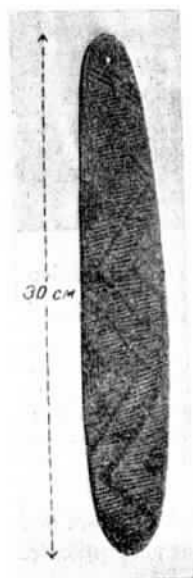


Рис. 64. Австралийский „рев быка“.

и отличаются от них только тем, что „рев быка“ подвешен на веревке в то время, когда он вращается, а бумага падает свободно. Когда веревка закручивается до отказа, то ее закручивание на минуту останавливается, после чего она начинает раскручиваться. Если это кручение происходит со скоростью пятидесяти или ста оборотов в секунду, то в воздухе возникает соответствующее число сотрясений, или пульсаций, вследствие чего „рев быка“ издает тон. Этот шум состоит из ряда завываний или рычаний, каждое

из которых соответствует одному вращению веревки и которые ловко рассчитаны на то, чтобы пугать суеверных женщин и детей, думающих, что они слышат голос привидения. „Рев быка“ очень легко сделать: для этого нужно только выбрать крепкий кусок веревки, потому что она сильно закручивается и, будучи недостаточно крепкой, может легко растрепаться и порваться. Для этого лучше всего взять кусок хорошей полотняной тесьмы. Его можно легко закрутить, так как



Рис. 65. Вращение „рева быка“, сделанного из куска алюминиевого листа. „Рев быка“, закручиваясь, сверкает, оглашая падающий на него свет.

он достаточно крепок. Древесный лист не может вращаться на конце своего корешка, подобно бумаге или „реву быка“, но когда ветер дует, он отходит настолько далеко, насколько позволяет ему закручивание его корешка; после этого он останавливается и начинает колебаться в обратную сторону. Таким образом он дрожит даже тогда, когда дует совершенно ровный ветер. Иногда можно заметить, что какой-нибудь лист колеблется взад и вперед особенно сильно, гораздо сильнее, чем его соседи; это происходит по всей вероятности потому, что период его качания, который, кроме всего прочего, зависит также и от скорости ветра, случайно совпадает с собственным периодом колебаний листка.

Листья, дрожа, трутся друг о друга, и это и является причиной шелеста, который слышен в деревьях. Тополя шелестят особенно сильно, так как черешок их листьев вытянут и в своем поперечном сечении гораздо более похож на кусок тесьмы, чем на круглый кусок веревки; следовательно, напор ветра может его легче привести в колебание. Уилькинсон (Wilkinson) заметил, что весной, когда листья моложе и нежнее, шелест бывает более мягким, а осенью, когда ли-

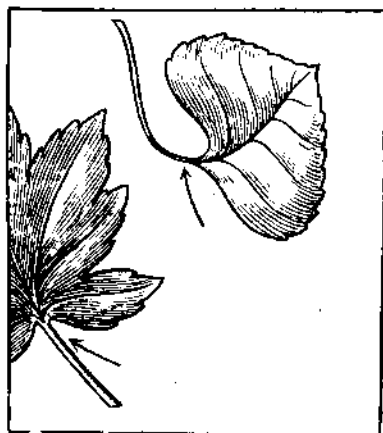


Рис. 66. Справа — лист клена; в месте, отмеченном стрелкой, — сужение. Слева — лист дикой смородины у основания корешка — сужения нет.

стья становятся жесткими, их шелест также становится грубым.

Если мы будем рассматривать наш пример с вращающимся „ревом быка“, то мы заметим, что, вращаясь, он не описывает окружности около руки человека, который держит конец веревки. Правда, он описывает окружность, но плоскость ее не включает в себе руку. Когда вы раскачиваете „рев быка“, то вы замечаете, что он отодвигается от вас; однако, после того как шум на одну минуту прекращается, так как веревка оказывается закрученной до отказа и начинает после этого раскручиваться, „рев быка“ быстро смещается и придвигается к вам, так что при-

ходится остерегаться, как бы он не задел ног. Впрочем мы это и должны были ожидать, наблюдая падение куска бумаги, который при этом вращался. Конец бумаги скользил в сторону, при чем направление этого скольжения зависело от того, куда он был направлен, и вся бумага следовала за ним. Таким образом бумага падала не прямо, а скользила вкось, под наклоном. Точно также „рев быка“ не движется прямо, а отклоняется в ту или другую сторону.

Не вполне гладкий кусок бумаги при своем падении не вращается. Все зависит от того, может ли он достаточно легко соскользнуть в сторону. Возьмем кусок бумаги и загнем его концы, как это показано на рис. 63. Теперь он не будет вращаться, а будет падать совершенно прямо, будучи все время обращен книзу одной и той же стороной. Если положить поверх письма еще одно или два письма так, чтобы они составляли пакет, и дать им падать в пролетах лестницы плашмя вниз, то они будут все время падать, не отклоняясь в сторону. С одним письмом, а тем более с открыткой, вы того же эффекта не получите. Сопротивление в этом случае оказывается слишком незначительным, и оно не в состоянии помешать письму соскользнуть в сторону; коль скоро же письмо соскользнуло в сторону, то нет уже никакой надежды, чтобы оно продолжало падать прямо вниз, так как ведущий край, т.-е. край, который при скольжении находится впереди, попадает на „новый воздух“, который не начал еще падать. Это замедляет падение, а тем самым способствует боковому скольжению.

Движение вперед по „новому воздуху“ объясняет несколько также и движение аэропланов и птиц. Если аэроплан парит, т.-е. слишком замедляет ход, то он начинает камнем падать вниз. Мы видим, что птицы, желая подняться, взлетают в воздух, затем они „парят“ и легко спускаются. То же происходит и в воде. Когда судно лавирует, т.-е. плавает против ветра, то вода поддается и пропускает судно боком с подветренной стороны. Но до того, как это происходит, лодка уже упирается в новую массу воды. Предположим, что мы можем подплыть к определенному месту берега. Если бы ветер дул несколько более спереди, то мы не могли бы этого сделать, так как все при этом зависит от продвижения вперед. Если лодка несколько замедляет

ход, например полагает в плывущую водоросль, то она не успевает перейти достаточно быстро в новые, незатронутые еще ею слои воды, следовательно лодку, а вместе с тем и всю воду, с подветренной стороны начинает относить в сторону, и она вскоре садится на мель. Продолжать после этого плавание бывает иногда очень трудно. Можно взять еще и другой пример. Когда гребец вытаскивает весло из воды, то перед лопастью весла находится масса воды, которая все время поддается и расступается. Если лодка очень тяжела и идет медленно, а удар весла происходит продолжительное время, то вода может начать поддаваться так сильно, что гораздо выгоднее повернуть лопасть весла по направлению к новой массе воды. Гребцы, которые производят тяжелые взмахи, иногда принуждены повернуть для этого лопасть весла вверх или вниз.

Возьмем широкий тонкий кусок дерева, например нож для резки бумаги, и будем его двигать с некоторой определенной скоростью в воде; пусть сначала это движение происходит вдоль ножа; вспомним то усилие, которое нам понадобилось при этом сделать. Повторим теперь наш опыт, двигая тот же кусок дерева поперек течения воды и стараясь, чтобы это движение происходило с прежней скоростью. Во втором случае нам придется сделать гораздо большее усилие, чем в первом.

Есть еще одно обстоятельство, о котором я хочу кратко упомянуть. Может показаться странным, что кусок бумаги, даже когда его концы загнуты вверх, падает прямо вниз, так как уже малейший толчок может вызывать боковое скольжение и начать двигать его по „новому слою“ воздуха. Но хорошо известно, что гладкая пластинка, которую помещают в воздушном или водяном потоке, всегда стремится повернуться таким образом, чтобы подставить потоку свою широкую поверхность, а не острый край.

Итак, существуют два способа, с помощью которых ветер производит шум: „звуки эоловой арфы“ и шелест листьев. Эти звуки и родственные им представляют собою большинство шумов, порожденных ветром. Воздух, который проходит мимо острых углов или сквозь отверстия, разбивается на вихри, хотя это происходит и не вполне по тому упрощенному способу, который мы указали, когда описывали, как он дует у палки или у проволоки. Когда ветер дует над

углублениями и возвышениями почвы и между деревьями, он постоянно приобретает неправильные колебательные движения; эти движения особенно усиливаются, когда деревья сгибаются или предметы качаются из стороны в сторону. Таким образом весь воздух сбивается в малые и большие вихри и колеблющиеся частицы, и в барабанную перепонку нашего уха ударяют многочисленные пульсации. Вот чем вызываются шумы в ветреный день.

Шум ветра в лесу зависит от породы деревьев, составляющих лес. Нежные иглы сосновой хвои разбивают ветер на вихри, которые следуют один за другим очень часто; при этом получается мягкий звук, имеющий очень высокий тон; с другой стороны, широкая поверхность буковых листьев разбивает ветер на небольшие струйки, и, кроме того, сами листья вызывают в воздухе сильные пульсации, а потому в буковом лесу постоянно стоит шум. Когда сильный ливень падает на сосновый лес, то слышен свист, когда же он проходит по буковому лесу, то слышен рев.

В деревне эхо происходит вследствие отражения от находящихся вдали строений, или от холмов, или от опушек леса. Звук, раньше чем мы его слышим вторично, успевает пройти вперед и возвратиться обратно, а потому, если мы разделим пополам время, в течение которого это произошло, и помножим полученное нами число на 330, то мы узнаем, на каком расстоянии от нас находится отражающая поверхность. Если время, протекающее между тем моментом, когда мы издаем звук, и тем моментом, когда мы его слышим снова, настолько коротко, что его трудно измерить, то мы пользуемся старой уловкой и вторично хлопаем руками или кричим, когда до нас доходит эхо. Мы повторяем это несколько раз, подсчитывая сколько именно; теперь уже удобно измерить время между первым криком и эхом последнего крика; поэтому мы можем после небольших вычислений узнать искомое расстояние.

Иногда случается, что эхо как бы не совпадает по своему тону с первоначальным звуком. Возможно, что объяснение этого явления не всегда одно и то же. В одном очень интересном случае, который описывает лорд Релей, голос женщины, возвращаясь обратно, понижался на октаву; Релей объяснил это очень просто. Раньше чем перейти к изложе-

нию его объяснения, укажем, что благодаря отражению ни в коем случае не может произойти изменение высоты тона. Голос человека содержит, кроме основных, или главных тонов, очень много более высоких тонов, или обертонов. Правда, обычными способами и невооруженным ухом их очень трудно уловить, так как наше ухо настолько привыкло к ним, что мы обращаем внимание только на основные тоны. Если по какой-то причине более высокий тон отражается сильнее, чем главный тон, то нам кажется, что эхо на октаву выше первоначального звука.

Именно так эхо возвращается из соснового леса. Релей предположил, что более длинные волны, т.-е. более низкие тона нашего голоса, отражаются сосновыми деревьями хуже, чем более высокие тона. Тонкая хвоя сосен пропускает мимо себя длинные волны, в то время как короткие волны она рассеивает в стороны или отражает назад.

Нам всем хорошо известны аналогичные явления в области света. Тонкий дымок, который поднимается от горящих поленьев, кажется нам темноголубым, когда мы его рассматриваем на темном фоне; это происходит потому, что мельчайшие несгоревшие частицы углерода, которые находятся в дыме, рассеивают в сторону короткие голубые волны легче, чем длинные красные. Если вы будете смотреть сквозь тот же дым на находящийся вдали огонь, то он вам покажется красным, а не синим. Происходит это потому, что, в то время как голубые лучи рассеиваются в стороны, красные проходят сквозь дым. Дымок, который поднимается с курящегося конца сигары, имеет по той же причине красивый бледноголубой цвет, но когда курящий берет сигару в рот, то дымок теряет этот нежный оттенок. Брызнем теперь несколько капель воды в костер; эти капли покроют частицы углерода и окажутся настолько большими, что они отразят все остальные цвета так же, как и голубой цвет. Действительно, теперь мы получим все цвета спектра. Наиболее интересный пример отражения части лучей мы имеем в воздухе. Взвешенные в нем небольшие частицы или даже молекулы самого воздуха рассеивают в стороны голубые лучи солнечного света, когда он проходит сквозь воздух, благодаря чему небо кажется нам окрашенным в голубой цвет. При закате или восходе солнца его лучи проходят

очень большой путь, прежде чем достигнуть земли. Короткие волны при этом так сильно рассеиваются, что солнце кажется нам багровым или золотым. Вспомните, что когда солнце кажущимся образом обходит вокруг земли, то позади него постоянно образуется закат, а впереди восход, благодаря чему небо в одних местах имеет голубой цвет, а в других оно окрашено в те цвета, которые мы видим, когда солнце стоит низко над землей.

Существует очень красивый старый опыт, иллюстрирующий то же явление, и мы его теперь повторим. Смешаем две бесцветные жидкости в определенной пропорции в стеклянном сосуде, сквозь который проходит луч света, образующий на экране круглое светлое пятно. Подождем теперь несколько минут. Вследствие химической реакции в жидкости начинает появляться сера в виде чрезвычайно мелких крупинок. Когда это происходит, то из того места сосуда, откуда исходит свет, направляющийся на экран, показывается красивая темноголубая окраска; одновременно с этим белое пятно на экране становится светложелтым. Между тем частица серы увеличивается в своем размере, голубая окраска бледнеет, так как к крайнему темносинему концу спектра подмешиваются более длинные волны, желтое же пятно на экране краснеет и становится, наконец, багровым, похожим по своему цвету на солнце во время тумана. Точно так же, когда сильный ливень, в буквальном смысле этого слова, вымывает небо, он заставляет опуститься на землю все частицы, носящиеся в воздухе, и небо приобретает чистый темноголубой цвет; происходит это потому, что после ливня остаются одни только молекулы самого воздуха, которые и рассеивают свет. После этого солнечный свет уже не ослабляется вследствие рассеяния, и так сильно как раньше, когда он падает на массы облака и отражается ими, то нам кажется, что он теряет весьма мало, даже в голубой части своего спектра, и облака кажутся нам ослепительно белыми.

Эхо, которое описывает лорд Релей, без сомнения относится к аналогичным явлениям. Сосны отражают более короткие волны или рассеивают их, пропуская в то же время более длинные волны. Я заинтересовался этим и попробовал пропустить звуковые волны через сосновый лес. Легко было уловить, что при этом терялись главным образом короткие волны и что звук становился более глухим.

Изменение, которое происходит в характере звука при отражении о еловые заросли, представляет собою только один из примеров очень многих подобных явлений. Эхо у Килларней<sup>1</sup>, как говорят, возвращает звуки, отличные от первоначальных, хотя и находящиеся с ними в гармонии. Однако простой переход какого-нибудь тона в другой при отражении невозможен; объяснение подобных явлений лежит прежде всего в том, что первоначальный звук содержал несколько тонов, из которых отражающая плоскость — холм, или деревья, или-что либо другое — во время отражения особенно сильно передала некоторые.

Ясные и отчетливые изменения, подобные только что описанным, немногочисленны; но при более слабых и менее очевидных отражениях, которые постоянно имеют место, все тона, возвращаясь назад, отличаются в большей или меньшей степени от первоначальных. Первоначальный звук никогда не представляет собою простого тона, — он всегда является собранием многих простых тонов, и некоторые из этих тонов отражаются сильнее, чем остальные. Если мы будем больше доверять нашим ушам, то мы сможем заметить это явственное. Я уже говорил о слепом Уилькинсоне из Лидса, который хорошо известен натуралистам как очень искусный наблюдатель; действительно, он обладает удивительной способностью определять древонасаждения и отдельные деревья ощупью, а также по их запаху и вкусу. Во время своих экскурсий он очень многим обязан своему слуху. Уилькинсон полагается главным образом на свои уши; он умеет толковать различные оттенки природных звуков, которые обычный наблюдатель едва замечает и на которые этот наблюдатель, конечно, не обращает внимания. Кто из нас, например, обращает внимание на различие шелеста деревьев в лесу в различные времена года или на разницу в характере звуков, которые получаются при отражении от ели, дубов, буков? Уилькинсон знает, что в данном направлении находятся луга, так как луговой жаворонок поет над ними; здесь слышны черные дрозды, и, следовательно, здесь находятся заборы, а вот в том направлении тишина, и это показывает, что там в отдалении находится лес. Достаточно не-

---

<sup>1</sup> Килларней — город в графстве Кери в Ирландии. *Прим. перев.*

долго поговорить с Уилькинсоном, чтобы выяснить, что деревья представляют собою очень интересный мир звуков, которого большинство из нас совершенно не исследует.

Существует еще один звук в деревне, о котором я хочу сказать пару слов, — журчанье ручья. Если вы будете стоять у ручья, в котором вода протекает сначала тихо, а потом с плещущим шумом, то вы заметите, что шум исходит из тех мест, где вода чиста. Струя воды при небольшом падении захватывает частицы воздуха, погружает их в воду и образует пузырьки; когда эти пузырьки лопаются, то они издают очень много резких шумов, которые по своей природе и по своему происхождению сходны со звуками, издаваемыми падающей в воду каплей. Из этих шумов и состоит журчанье ручья. Там, где у гладких камней протекают мутные воды, образующиеся под этими камнями водовороты не издают никакого шума.

## ЗВУКИ МОРЕЯ

В глубинах морей царствует тишина. Море представляет собой в этом отношении полную противоположность шумной земле. Мы видели, что одной из главных причин, вызывающих звуки, которые слышим мы, живущие на открытом воздухе, являются воздушные движения. В глубинах морей движения воды очень слабы, и происходят они очень редко. Вблизи берегов бывают приливы и отливы, но даже и эти движения по сравнению с движениями воздуха медленны и спокойны. Шум, как и можно было этого ожидать, возникает здесь лишь тогда, когда волны ударяются о берег, потому что при этом они, пенясь и бурля, набегают одна на другую.

Обитатели морей также очень спокойны в своих движениях. В морях плавают рыбы, которых несет течение воды. Их движения не вызывают последовательных толчков, подобных толчкам, которые производят обитатели земли, ступая по ней; нет здесь также и ничего, что бы соответствовало быстрым ударам крыльев, которые производят птицы и насекомые, летая по воздуху. Все здесь способствует бесшумным движениям.

Недавно в зоологическом саду был произведен следующий опыт. Вокруг бассейна, в который были погружены очень чувствительные приборы для улавливания звуков, расположились наблюдатели. Смотритель сада бросил в этот бассейн рыб, а вслед за ними были пущены птицы, которые умеют нырять. При нырянии птиц не было заметно никакого шума, за исключением звуков, произведенных выплывшими на поверхность воды и лопнувшими одним или двумя небольшими воздушными пузырьками, застрявшими в перьях птиц и таким образом попавшими в воду. Единственный, действительно вызванный птицами шум был произведен пингином, который по ошибке принял прибор для улавливания звуков за нечто съедобное и стал сильно бить по нем

клювом. Что же касается рыб, то если они и производят шум, то он должен быть слабее шума, который производят ныряющие птицы.

Когда животные, находящиеся в воздухе, ныряют в воду, то даже и это происходит фактически бесшумно. Мы видели, что очень чистый металлический шар, опущенный в воду, погружается в нее почти беззвучно, и фотографии Уорзингтона показали нам, что вода, в то время когда в нее погружается шар, быстро обтекает его, не давая возможности образоваться воздушным пузырькам, которые лопаясь, производили бы шум. Шум производится только тогда, когда по тем или иным причинам образуются пузырьки, например когда шар погружается в воду столь быстро, что вода не успевает сейчас же вслед за ним сомкнуться. Это происходит гораздо легче, если шар оказывается мокрым, ржавым или шероховатым. Когда животное ныряет в воду, то вслед за собой оно не оставляет воздушной воронки, которая могла бы вызвать шум; если же мы бросаем в воду большой камень, то через некоторое время, после того как камень коснулся воды, мы слышим глухой шум.

Мы видели, что когда воздушная или водяная струя обтекает препятствие, то при этом постоянно возникают небольшие вихри, которые образуются в воздухе с такой быстротой, что производят звук определенной высоты, который мы можем расслышать. В воде мы встречаемся с соответствующими явлениями далеко не часто. Мы можем производить колебания, когда леска с грузом дрожит в наших пальцах, но эти колебания слишком медленны. Существует еще и другой, очень интересный способ производить шум в воде. Шум происходит, когда какое-либо тело движется в воде настолько быстро, что вслед за ним образуется пустое пространство; вода, находящаяся по сторонам этой полости, не успевает ее заполнять тотчас же после того, как она образуется. Воздухом эта полость не наполняется, потому что она находится всецело под водой. Гребной винт корабля, быстро вращаясь, часто образует подобные пустоты. Их главная особенность состоит в том, что когда они снова смыкаются, наполняясь окружающей их со всех сторон водой, то нет никаких воздушных подушек, которые бы противостояли силе удара. При встрече воды, которая составляет

стенки полости, удар происходит так же внезапно, как и взрыв. Резкий импульс, который при этом получает вода, распространяется в ней очень хорошо и далеко и, как мы увидим потом, представляет собою основную причину шума, который производит движущийся пароход. Это явление хорошо известно морским инженерам, так как оно часто разрушает пароходные винты; удары, происходящие при этом, так сильны, как удары молотом.

Ну, а рыбы, когда они быстро движутся в воде, каким образом они избегают этого эффекта?

Вот второй очень важный вопрос, относящийся к движению рыб, на который можно ответить одновременно с первым вопросом. Если скорость, с которой тело двигают внутри воды, недостаточно велика, чтобы образовывать пустоты, то при этом все-таки позади тела могут образоваться вихри; таким образом тело оставляет за собою массу движущейся воды, которой оно отдает часть своей энергии. Если бы тело можно было двигать в воде таким образом, чтобы вслед за ним не образовывалось ни пустот, ни вихрей, то для продвижения такого тела не нужно было бы затрачивать никакой энергии. Рыба движется очень легко и бесшумно даже тогда, когда она плывет быстро. Каким же образом она это производит?

Вопрос этот был очень внимательно изучен во время войны: им занималось, с одной стороны, морское ведомство, так как корабли, торпеды, субмарины и другие суда и снаряды, продвигаясь, находятся частью или всецело под водой и имеют гораздо большую скорость, чем это необходимо в данном случае; им занималось также и министерство воздухоплавания, так как этот вопрос имеет очень большое значение для аэропланов.

Стараясь придать телу правильные очертания, нашли, наконец, форму, очень похожую на форму рыбы (рис. 67). Спереди тело, имеющее такую форму, может быть несколько притуплено, но хвост его должен непременно быть заостренным. Причина, почему такая форма наиболее пригодна для наших целей, заключается попросту в том, что благодаря ей происходит спокойное замыкание воды (или воздуха) позади движущегося внутри ее тела. Снабдить тело таким хвостом гораздо важнее, чем устроить так, чтобы вода постепенно

разрезалась лобной частью. Естественно было подумать, что в данном случае важнее всего устроить лобную часть наподобие ножа или заострить ее, для того чтобы можно было легко разрезать воду; но это предположение в действительности не оправдывается.

Рыбы имеют правильную форму, благодаря которой они могут двигаться в воде не производя шума и без излишних усилий.

Если живые существа, населяющие моря, двигаясь под водой, производят столь слабый шум, то естественно ожидать, что они не в состоянии улавливать звуки. Животные должны знать, что происходит вокруг них, и особенно, что делают другие животные. Но если движение этих животных не сопровождается шумом, то не следует также ожидать, чтобы они обладали слуховыми органами. Мы дальше увидим, что звуки сквозь воду проходят

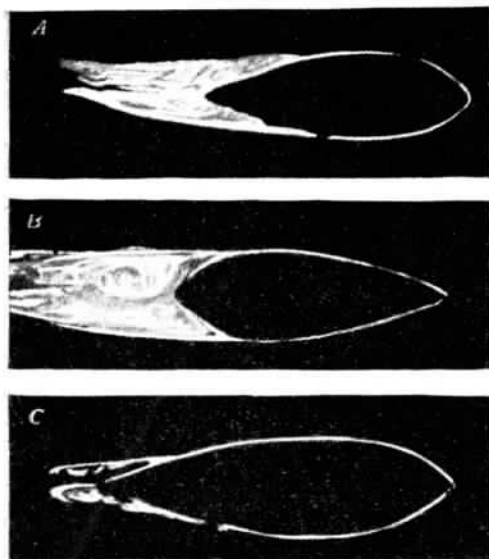


Рис. 67. Возникновение вихрей при движении тела (слева направо) в жидкости. Форма *C* производит наименьшее возмущение; форма *A* не вполне удовлетворительна; форма *B*, представляющая собою форму *A*, обращенную в противоположную сторону, действует совсем неудовлетворительно.

очень хорошо, а потому, если живущие в море существа не пользуются нашими обычными органами слуха, то причину этого надо искать не в том, что вода плохо передает звуки, а в чем-то другом.

Те, кто изучали развитие живых существ, рассказывают, что в ранний период истории земли на коже животных, которые жили в морях и являются предками позвоночных животных, населяющих в настоящее время землю и воздух, по обеим сторонам головы образовалась пара углублений <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Многие из последующего мне сообщил профессор Эллиот Смит (Elliot Smith).

Содержимое этих углублений было защищено благодаря их положению; оно было много чувствительнее остальных частей тела к разного рода внешним явлениям, как, например, к течению воды или к изменению давления. Эти углубления не сразу стали органами слуха; и действительно, они были очень далеки от развившихся из них потом утонченных и нежных ушей земных животных. Но эти углубления были в состоянии улавливать изменения давления, которые производили рыбы при своих собственных движениях. Надо помнить, что хотя рыба и не производит быстрых колебаний, которые переходили бы в звуки, все же ее движения приводят в движение также и воду; когда же вода движется, то давление в ней не повсюду одно и то же: в различные моменты времени и в различных местах оно бывает различным. Когда рыбы плывут мимо камня или проплывают друг возле друга, то происходит особое изменение давления. Чувствительные углубления давали рыбам об этом сведения, а навык развил у них способность отличать друг от друга различные изменения в давлении, которые они ощущали. Применение этих органов развивалось в двух различных направлениях. Во-первых, рыбы их употребляли для того, чтобы регулировать изменения в своем собственном положении и, делая это, развили у себя в конце концов в течение тысячелетней эволюции формы, показанные на рис. 68. Здесь видны три канала, соединенные между собою очень интересным образом. Каждый из них содержит жидкость, которая при внезапном повороте приходит в соответствующее движение, если только этот поворот сделан в плоскости, в которой находится канал. Вообразим себе сосуд, обитый мехом с длинными волосами и наполненный водой. Будем его быстро поворачивать. Вода внутри сосуда останется

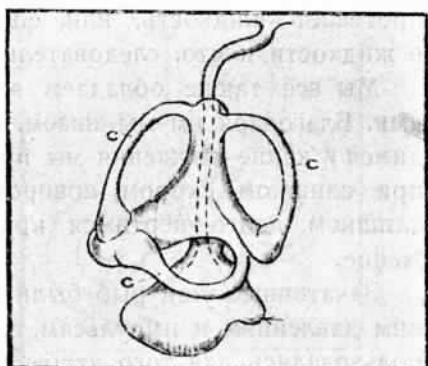


Рис. 68. Обычный тип „слухового аппарата“ у рыбы. Три полукружных канала (с. с. с) служат рыбе для поддержания ею положения равновесия. У рыб отсутствует улитка.

в течение одного момента в покое, и все волоски, которые торчали прямо и были направлены к середине сосуда, сейчас как бы сгладятся и повернутся в направлении, противоположном тому, в котором происходит движение сосуда. Точно также, когда эта система каналов внезапно поворачивается, то жидкость в одном или в нескольких каналах остается в покое, между тем как сам канал вращается. При этом определенные волоски внутри канала сгибаются вследствие соответствующего движения. Предполагают, что эти волоски чувствительны и в состоянии передать мозгу, что мимо них протекает жидкость, или, еще лучше, что они движутся в жидкости и что, следовательно, произошел поворот.

Мы все также обладаем этими каналами и пользуемся ими. Благодаря им мы знаем, в каком положении мы находимся и какие движения мы производим. Это они действуют при слишком скором повороте, как, например, когда мы слишком долго вертимся кругом и чувствуем головокружение.

Зачаточные уши рыб были также чувствительны к внешним давлениям и импульсам, и, как предполагают, рыбы ими пользовались для того, чтобы обнаружить эти давления. Повидимому, у рыб были также и другие органы, находившиеся у них по бокам, которые применялись для той же цели.

Наконец пришло время в истории земных существ, когда некоторые определенные рыбоподобные животные перестали жить всецело под водой и превратились в земноводных. Они стали жить двойкой жизнью. Часть их жизни проходила в воздухе, а другая часть в воде. Повидимому, зачаточные уши стали так чувствительны к изменениям давления, что ими можно было пользоваться в воздухе, хотя изменения давления в воздухе сильно отличаются по своему характеру от изменений, происходящих в воде. Воздух в тысячу раз легче воды и гораздо податливее ее. Вода сравнительно неподатлива. Но мы знаем, что органы слуха должны были давать некоторую оценку звукам, а потому развитие ушей пошло дальше и они в конце концов приняли современные формы. Если не пользоваться ушами, то они атрофируются, т.е. перестают действовать. Очень важным придатком к ушам является улитка — очень нежный и сложный механизм, который находится у всех животных, обладающих хорошо раз-

витым слухом (рис. 69). Каким образом действует улитка, еще не вполне выяснено. Мы знаем только, что она является существенной частью высоко развитых животных, живущих в воздухе.

Правда, рыбы имеют менее развитые органы слуха, но это вовсе не значит, что рыбы совершенно не в состоянии слышать. И действительно, определенно известно, что некоторые рыбы реагируют на звуки или, во всяком случае, что они чувствительны к тем толчкам, которые происходят, когда раздается звук; некоторые из них даже сами умеют

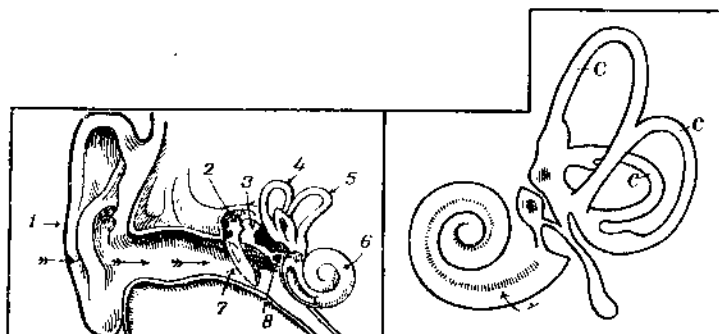


Рис. 69. Слева — человеческое ухо: 1 — внешнее ухо; 2 — молоточек; 3 — наковальня; 4—5 — полукружные каналы; 6 — улитка; 7 — барабанная перепонка; 8 — стремечко. Справа — более подробный чертеж части уха; с — полукружные каналы; х — улитка.

издавать звуки. Когда мы бросаем камень в ручей, то мы замечаем, что пеструшки разбегаются в стороны. Они должны были почувствовать удар камня, когда он попал в воду, так как мы знаем, на основании других опытов, что подобные толчки очень хорошо передаются воде и должны были пройти сквозь тело рыбы, которая плыла в воде. Что же касается звуков, которые производит воздушная воронка, образующаяся вслед за падением камня, — эта воздушная воронка является главной причиной, вследствие которой мы, стоя на берегу, слышим падение камня в воду, — то одинаково вероятно как то, что рыбы воспринимают эти звуки, так и то, что они их не воспринимают.

Чем лучше развита улитка, тем более совершенным оказывается слух и тем более животные доверяются своим ушам. Крокодил, например, должен в очень сильной степени полагаться на свой слух, так как осязание ему почти ничего не

дает, а когда он ползет по земле, то он так близок к ней, что его поле зрения оказывается весьма ограниченным. Поэтому крокодил обладает очень хорошим слухом. Улитка у него гораздо более развита, чем у ящериц и у змей. У птиц слух также очень сильно развит; то же можно сказать и о млекопитающих животных, особенно таких, как летающая лисица, тюлени, обезьяны и люди.

Тишина морей — вот, без сомнения, та причина, вследствие которой рыбы мало пользуются своими слуховыми способностями, во всяком случае в том смысле, в каком эти способности понимаем мы, живущие на земле.

Проследим теперь развитие ушей и посмотрим, какие удивительные вещи при этом окажутся. Это, как мы увидим, нам поможет понять некоторые вещи, которых я коснусь в моей последней лекции, которая будет посвящена вопросу об использовании звуков на войне.

Обратим, во-первых, внимание на тот факт, что наши уши могут воспринимать звуки, весьма значительно отличающиеся по своей силе. Ухо, которое в состоянии в тиши ночи слышать в тихой комнате тиканье часов, может находиться на расстоянии нескольких метров от свистящего паровоза и тем не менее оно не портится. Мастера, делающие инструменты, знают, какие трудности представляет устройство какого-либо инструмента в сто раз меньшего диапазона чувствительности. Правда, ухо не может одновременно улавливать очень сильно отличающиеся друг от друга звуки. В состоянии ли мы слышать тот или иной звук, в очень сильной степени зависит от того, сколько звуков доходит до нас одновременно. Мы все знаем, как трудно разговаривать на шумной улице. Желая слышать очень слабые звуки, как, например, звуки, производимые субмариной под водой, мы легко можем устроить приборы, усиливающие их. Но такие приборы оказываются совершенно бесполезными, если они одновременно усиливают все звуки.

Тем не менее во многих случаях наше ухо может хорошо уловить и слышать слабый звук даже тогда, когда он происходит на „фоне“ сильного шума. В мастерской, которая наполнена шумом и стуком машин, ухо может уловить человеческий голос, сила которого составляет очень незначительную часть общего гомона. Телефонист, принимающий на-

слух радиогаммы, может расслышать ряд сигналов, принимаемых его инструментами, не обращая внимания на остальные приходящие одновременно с ними сигналы. Мы замечаем, что в каждом из этих случаев звук, для того чтобы его можно было различить, содержит нечто, что дает возможность нашим ушам и нашему мозгу уловить его, — нечто, что отличает его от оглушающего фона. Сигналы, к которым прислушивается наблюдатель, выхватываются им из соединенного, связанного сообщения, а общий смысл соединяет их вместе в его мозгу. Если это „нечто“ дано, то можно устроить так, чтобы сила сосредоточивания на ряде сигналов была на практике очень значительно усовершенствована. Иногда во время своей тренировки наблюдатель научается улавливать и записывать очень слабые сигналы, в то время как тут же назойливо играет шумный граммофон.

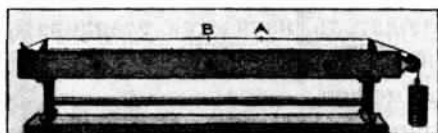
Во-вторых, существует определенный тембр, которым отличается человеческий голос от шума машины. Характер и ритм этих звуков совершенно различны. В течение всей своей жизни мы стараемся наилучшим образом использовать особые качества, присущие человеческому голосу, так как этот голос является для нас одним из самых важных звуков во всем мире.

Что же представляет собою этот тембр, которым отличается один звук от другого и на котором мы так много основываемся? Ясно, что мы должны тщательно исследовать свойство звука, без которого последний будет нам мало полезен.

Для того чтобы разобрать этот крайне важный пункт, начнем с простейшего случая. Если я стану дергать струну монохорда в различных местах, то при этом получается звук, имеющий всегда одну и ту же высоту. Но эти звуки все-таки чем-то отличны друг от друга: они имеют не один и тот же общий характер; между ними, как говорят, существует „качественное различие“. Наши уши действительно улавливают некоторого рода эффект; мы сейчас убедимся, в чем здесь дело. Если я дерну струну в точке А (рис. 70) и мы станем тщательно прислушиваться к произведенному звуку, то мы найдем, что он содержит не только основной тон звучащей струны, но также и его октаву. В этом случае имеют место одновременно два тона. Для того чтобы сделать

это заметнее, я слегка касаюсь середины струны после того, как я дернул ее в точке *A*. Тем самым я в той или иной степени уничтожаю основной тон, и теперь октава становится ясно слышна. Она звучит очень сильно, и мы поражаемся, как мы могли раньше не обратить на нее внимания: действительно, если мы снова дернем струну в точке *A* и станем прислушиваться к получающемуся таким образом звуку, то мы теперь достаточно ясно услышим оба тона.

Теперь я дергаю струну в центре: октава при этом уже более не слышна. Когда я стараюсь заглушить основной тон легким прикосновением к середине струны, подобно тому



*Рис. 70.* Если дернуть струну сначала в *A*, а затем в *B*, то получатся звуки одной и той же высоты, отличающиеся только своим тембром.

как я это делал раньше, то при этом прекращаются все звуки. Итак, мы убеждаемся, что основной тон имеет место всегда и не зависит от того, в каком месте я дергаю струну, а октава появляется лишь тогда, когда я ее

дергаю в точке *A*; когда же я дергаю в центре, то она отсутствует. В этом и заключается объяснение того, почему в этих двух случаях звуки отличаются друг от друга своим тембром.

Октава получается при колебании струны двумя равными частями, когда в середине находится точка покоя. Если я буду дергать струну в середине и заставлю колебаться среднюю ее часть, то мы при этом не обнаружим присутствия октавы, при которой центр находится в покое. Следуя этому, мы можем предугадать, что если дернуть струну в центре, то струна будет колебаться тремя равными частями; оказалось, что такое явление действительно имеет место. Обертон хорошо слышен в том случае, когда я заглушаю основной тон прикосновением к струне в одной из точек ее деления на три равные части. Если я дерну струну в одной из этих точек, то при этом в звуке, который издаст струна, не окажется и следа только что полученного нами тона.

Мы узнали две вещи: во-первых, что одна и та же струна может издавать различные обертоны основного тона (это мы уже нашли и раньше) и что несколько таких обертонов

могут звучать одновременно. Во-вторых, мы нашли, что мы можем вызвать различные обертоны, имеющие различную силу, дергая струну в различных местах, хотя одновременно мы всегда получаем также и основной тон. Итак, мы всегда можем объяснить различия тембра струны.

Совершенно то же самое мы находим во всех механизмах, производящих звук. Мы можем иллюстрировать это в дальнейшем с помощью очень известного старого опыта с хладниевыми пластинками. Здесь перед вами находится бронзовая пластинка с ручкой в середине, которая вставлена в подставку. Если провести смычком по краю этой пластинки в различных точках ее, то мы получим различные тоны, которые будут зависеть от того, в каких точках мы проводим смычком; эти тоны мы можем еще более разнообразить, прика-

саясь пальцами к различным точкам пластинки. Хладни указал, как выяснить, что при этом происходит. Насыпем на пластинку немножко песка. Коснемся ее пальцами в двух точках, как это показано на рисунке, и проведем смычком по ее краю: песок тотчас же соберется вдоль некоторых линий и образует на пластинке узор (рис. 71). Если мы прикоснемся к двум другим точкам и опять проведем смычком, то старый рисунок исчезнет и появится новый.

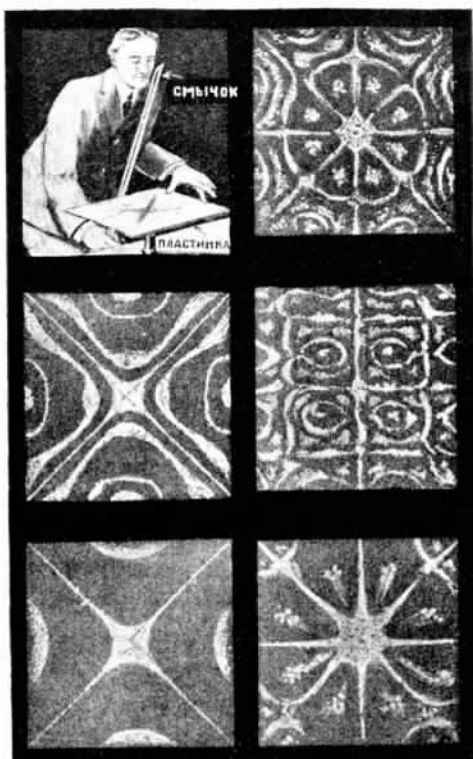


Рис. 71. Хладниевы пластинки. Песок располагается на них по узловым линиям; ликоподиум полхватывается вихрями, которые образуются над колеблющимися частями пластинки, и, когда звук затихает, он собирается в кучи в тех местах, где движение было наиболее сильным.

Объясняется это явление очень просто: пластинка колеблется отдельными площадками, подобно тому как струна колебалась отдельными частями. Точка покоя на струне соответствует линии покоя на пластине. Когда пластинка с одной стороны линии при своем колебании поднимается вверх, то с другой ее стороны она опускается вниз, и наоборот. Когда пластинка колеблется, то песок, танцуя, передвигается, и оседает вдоль линии покоя. Различные узоры соответствуют различным способам колебания и различным тонам, которые издает пластинка. Существуют десятки различных тонов, которые издает при своем колебании одна и та же пластинка, колеблясь различным образом. Если насыпать поверх пластинки немного очень легкого порошка ликоподия, то воздушные вихри подхватывают его и собирают в тех местах, где движение особенно сильно.

Когда по пластинке ударяют или проводят смычком, не пытаясь при этом регулировать колебания, то в результате получается нестройное собрание различного рода тонов. Эти тоны не находятся между собой в гармонии, подобно тому как находятся в гармонии обертоны струны или трубы; вслушиваясь в этот шум, тотчас же мы обнаруживаем в нем много простых тонов; между тем как когда мы хотели убедиться, что струна, кроме основного тона, издает еще и обертоны, нам необходимо было прибегнуть к специальной уловке.

Мы замечаем также, что если ударять по пластинке в различных местах, то она издает звуки, имеющие различный тембр. Опять-таки мы вынуждены предположить, что эта разница в тембре вызывается попросту изменением состава звуков: некоторые из обертонов, возникают в пластинке, когда мы ударяем по ней в одном месте, а другие, когда мы ударяем в другом месте. Если у нас нет под руками специальных хладниевых пластинок, то для демонстрации этого явления может служить металлический поднос или гонг.

Если бы мы рассмотрели все те разнообразные способы, при помощи которых получают звуки, то мы бы нашли, что фактически всякий из тех инструментов, которые мы употребляем, издает несколько тонов. Струну мы уже исследовали. Поведение воздушного столба очень похоже в этом отношении на поведение струны: воздушный столб, подобно струне,

имеет обертоны, и когда он звучит, то некоторые из его обертонов так же хорошо слышны, как и основной тон. Если мы возьмем органную трубу или даже простую дудку, то мы получим ее основной тон и, кроме того, еще что-то, но если мы станем дуть сильнее, то октава станет так же хорошо слышна, как и основной тон, а если мы станем дуть достаточно сильно, то основной тон стухнет. Тембр изменяется вместе с изменением состава звука. Если мы хотим понять, почему, в зависимости от того с какой силой мы дуем, слышен лучше то основной тон, то обертон, то мы должны принять во внимание наш опыт с воздухом, проходящим мимо препятствия. Воздух, который мы вдували направляется — во флейте мундштуком, а в трубе или в дудке каналом — к заостренному краю. С обеих сторон этого края попеременно образуются вихри, которые вызывают колебания воздушного столба в трубе, последние же оказываются обычно настолько сильными, что определяют все движение. Период колебания издаваемых трубой звуков определяется колебаниями воздушного столба, а не тоном вдуваемого нами воздуха. Однако последний также оказывает некоторое влияние: когда в трубе дуют сильнее и тон ветра становится выше, то труба внезапно перестает издавать основной тон, и тогда октава оказывается главным тоном, который издает труба.

Найдено, что число и сила обертонов, которые сопровождают основной тон, зависят от формы органной трубы: широкая труба, например, имеет несколько обертонов, и тембр издаваемых ею звуков бывает глухим. Если сделать трубу конической, а не цилиндрической, то тембр издаваемых ею звуков изменится; тембр зависит также от того, сделана ли труба из дерева или из металла. В течение веков мастера, делающие органы, научились придавать различные формы органным трубам, и некоторые из этих форм очень интересны; каждая форма дает определенный тембр тону и образует особый „лад“.

Один из наиболее интересных примеров соотношения между тембром и обертонами мы можем найти в „языковых“ инструментах; они особенно интересны потому, что похожи на человеческие голосовые связки больше, чем на какой-либо другой источник звука. Языковые инструменты употребля-

лись еще в глубокой древности. Здесь лежит один из таких примитивных инструментов (рис. 72), который является предком нашего кларнета и гобоя. Он сделан из бамбука в Люксоре (на Ниле), поскольку дело касается его существенных частей; украшения же его, наверное, происходят из Бирмин-



Рис. 72. Примитивная египетская „язычковая“ труба.

гама. У одного конца бамбуковой трубы находится отверстие, которое закрывается тонким бамбуковым стебельком, закрепленным с одной стороны и свободным с другой. Этот стебелек в состоянии двигаться и может закрывать и открывать отверстие или же, как это показано на рисунке, оставлять его полуоткрытым. На трубке находится также и ряд дырочек, которые закрывают пальцами, как в флейте. Для того чтобы играть на этой трубе, нужно ее конец, который помечен буквой А, вставить в рот и подуть. Воздух устремляется сквозь отверстие, как это показано на рисунке, и увлекает за собой стебелек, который закрывает последнее. Поток воздуха прекращается, стебелек подымается, воздух снова начинает протекать, и так движение повторяется само собою.

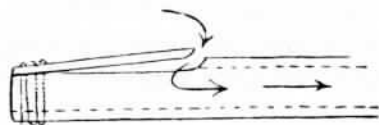


Рис. 73. Мундштук языковой трубы.

Период этого движения устанавливается колебаниями воздуха в трубе. Язычок так слабо висит, что он вполне повинуется колебаниям воздушного столба, хотя сами эти колебания вызываются его движением.

Тембр языкового инструмента бывает очень богат обертонами, вследствие чего он иногда становится даже неприятным, — гораздо богаче обертонами, чем тембр дудки или флейты. Причина этого заключается в том, что обертоны языкового инструмента бывают очень сильны и в особенности благодаря тому, что в данном случае имеется много высокочастотных обертонов. Это происходит потому, что язычок в конце своего взмаха закрывает отверстие очень быстро.

Точно также гонг, о который ударяют обмотанным мягкой шерстью шаром, дает более глухой звук, чем молоток, который употребляют для того, чтобы получить резкий, внезапный удар.

Язычки имеются также и в концертино, в гармонии и в губной гармошке, которая, однако, отличается от кларнет-

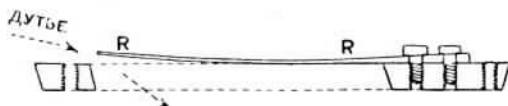


Рис. 74. Схема установки металлического язычка. Этот язычок очень силен и имеет свой собственный период колебаний. Он представляет собою часть прибора, изображенного в уменьшенном масштабе на рис. 75.

ного язычка в одном очень важном отношении. Язычки в ней металлические и находятся над отверстием (рис. 74), которое они попеременно то открывают, то закрывают, при чем они это делают почти так, как это только что было описано. Но язычки губной гармошки столь сильны, что они имеют свой собственный период колебания: высоту тона определяют в гармошке колебания язычка, а не воздуха в трубе. И действительно присоединять к ним какие-либо трубы не нужно.

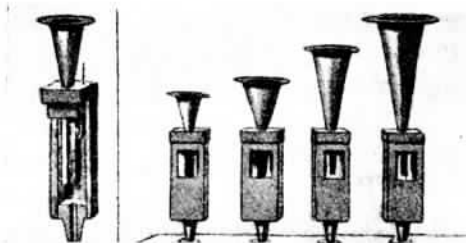


Рис. 75. Язычок, к которому присоединены различные резонирующие трубы, придающие издаваемому язычком тону различные оттенки.

Металлические язычки, которые сами определяют период своего колебания, употребляются также и в органе; но здесь к ним часто присоединяют трубы, для того чтобы придать тону, издаваемому ими, некоторый определенный тембр. Здесь перед вами находится такого рода язычок, в который дуют с помощью находящегося внизу органа: имеется также ряд труб различной формы, которые могут быть по очереди присоединены к язычку. Как мы слышим, при этом получают звуки, значительно отличающиеся друг от друга по своему тембру; объяснение этого состоит в том, что каждая труба особенно усиливает некоторые обертоны, между тем как высота основного тона не изменяется.

Мы пришли к наиболее замечательному из всех инструментов, — к голосовым связкам, и в частности к человеческим голосовым связкам. В нашем горле находится язычок — гортань, которую можно сравнить с только что описанным язычком; когда мы придаем нашим зубам, губам и языку различные положения, то мы при этом производим нечто похожее на присоединение к язычку труб различной формы. Благодаря изменениям и тонким переходам от одного положения к другому, мы получаем аккомпанимент обертонов, который и представляет собою наш разговор — гласные и согласные буквы различных оттенков. Бесконечные нежность и разнообразие всех тех тонов, которые мы издаем, происходят только благодаря удивительной тонкости наших ушей, которые различают эти тона друг от друга, и нашего мозга, который их истолковывает. Да, наши уши теперь так тонко устроены, а между тем давным-давно, как нам об этом передают геологи, они представляли собою лишь зачаточные углубления в голове живших тогда под водой животных, углубления, служившие им для улавливания изменений давления воды и ее движений.

Наши уши обладают еще и другой замечательной способностью: они указывают нам направление, откуда приходит звук. Эту способность наших ушей мы постоянно используем. Достаточно нам прислушаться на поле к звукам, чтобы сказать: „жаворонок поет в том или другом направлении“. В последнее время мы привыкли к гулу пропеллеров и можем очень быстро найти, в какой части неба летит аэроплан.

Надо отметить еще одно замечательное свойство нашего органа слуха. Когда звук раздается справа от нас и мы чувствуем, что он идет именно оттуда, то нам кажется, что мы его слышим только правым ухом. В действительности, может быть показано как непосредственным опытом, так и теорией, основанной на других опытах, что оба наших уха получают обычно одинаковое количество звуков. Было сделано много попыток объяснить это явление, но удовлетворительного объяснения не найдено до сих пор. Мы, однако, узнали, что эта способность зависит от совместного действия обоих ушей, — мы будем теперь говорить о „бинауральном“ (двуушном) ощущении, или ощущении, зависящем от обоих ушей, — и что наш мозг так или иначе узнает,

какого уха звуковая пульсация достигла раньше. Это объяснение по всей вероятности верно и тогда, когда эта пульсация является одной из целого ряда совершенно одинаковых пульсаций. Оно определенно верно, если мы имеем дело с одной пульсацией, или очень заметным эффектом, или с изменением в непрерывном шуме. Например в опыте, представленном на нашей схеме, звук камертона передается с помощью двух трубок ушам слушателя, голова которого представлена кружком (рис. 76). Когда длины обеих труб равны между собой, то наблюдатель думает, что источник звука находится как раз позади него — ни справа, ни

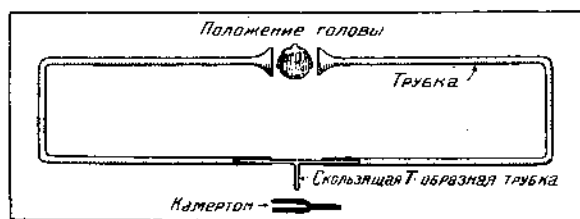


Рис. 76. Опыт, с помощью которого можно обнаружить бинауральный эффект. Каждая трубка (18 мм в диаметре) имеет 5,6 м в длину, и, таким образом, с каждой стороны головы находится трубка длиной около 2,5 м; Т-образная трубка (около 12 мм в диаметре) может скользить в обе стороны, — всего на 0,5 м.

слева. Но Т-образную трубку, а вместе с ней и камертон можно сдвинуть на несколько сантиметров направо и налево, и слушателю сразу покажется, что он слышит звук только одним ухом; он заявит, что этот звук доносится с соответствующей стороны. Однако разница в силе звука в обоих случаях столь ничтожна, что мы ее не можем заметить. Более того, люди, которые оглохли на одно ухо, повидимому очень затрудняются при определении направления, откуда исходит звук. Очень легко испытать эту способность, завязывая глаза наблюдателю и усаживая его на стул на открытой лужайке; кто-нибудь может бесшумно передвигаться с места на место по лужайке, издавая при этом различные звуки.

Мы только что очень бегло рассмотрели главнейшие свойства нашего уха и, переходя к вопросу о применении звуков на войне, сможем оценить встречающиеся там трудности и успехи, которые достигнуты.

Впрочем, есть еще несколько связанных с морем звуков, которые я хочу описать.

Иногда, когда мы гуляем по песку у морского берега, мы замечаем, что песок, поддаваясь под давлением наших ног, издает странные звуки, более всего похожие на скрип. Эти явления были тщательно изучены Карусом Вильсоном (Carrus Wilson), который очень любезно доставил мне для моих лекций немного звучащего песка с острова Эйг (Eigg) в Шотландии.

Если положить этот песок в фарфоровую или в твердую деревянную чашку и ударять по нем твердым пестиком, то он громко скрипит. При этом слышны ясные и отчетливые звуки определенной высоты, которые меняются, когда мы меняем пестик или чашку; когда мы берем большую чашку или более тяжелый пестик, то эти звуки понижаются в своем тоне. Если чашка сделана из резины или если головка пестика покрыта резиной, то не происходит никаких звуков. Исследуя песок под микроскопом, можно найти, что он состоит из более или менее одинаковых, не вполне шарообразных зерен. Если примешать к песку немного грязи или муки, или если часть песка, растираясь, превращается в порошок, то шум слабеет и даже совсем прекращается. Песок снова приобретает свои свойства, если отмыть от него порошок.

Почти несомненно, что эти звуки принадлежат к звукам, происходящим при прилипании и скольжении. Неприятный скрип грифеля, когда им проводят по аспидной доске, всем нам хорошо известен. Этот скрип как раз и обусловлен скольжением и прилипанием грифеля к доске, происходящими в регулярной последовательности. И действительно, если грифель держать легко, не нажимая им, то, проведя им по доске, мы заметим правильный ряд отдельных точек.

Пробочник и пробка очень быстро прилипают и скользят друг около друга, производя пронзительный скрип. Маленькие игрушки, которые подражают пению птицы, сделаны из вставленных в деревянную оправу кусков мягкого металла; они действуют точно таким же образом. Подшипники скрипят, когда они давно не смазаны маслом; масло превращает движение, происходящее скачками, в ровное движение.

В музыкальном песке зерна слипаются вместе в комок, а затем эти комки в одном или нескольких слоях распадаются и, переходя к новому положению, образуют новые комки и снова слипаются. Когда проводят смычком по скрипке, то

происходят точно такие же явления, но в этом случае не вполне выяснено, происходят ли прилипания и движения смычка и струны во время некоторой части колебаний с одинаковыми или с разными скоростями. Впрочем, нет надобности в том, чтобы они происходили с одинаковой скоростью; все, что при этом требуется, состоит только в том, чтобы когда колебания смычка и струны направлены в одну и ту же сторону (т.е. когда они находятся в одной и той же фазе), смычок мог подходить к струне ближе и оказывать на нее большее давление, чем когда их колебания направлены в противоположные стороны (находятся в противоположных фазах). Во всех этих случаях существует некоторое тело, которое и издает звук определенной высоты. В скрипке таким телом является струна, в других случаях, по всей вероятности, колеблется одно из двух трущихся друг о друга тел, при чем высота издаваемых им звуков зависит от его собственного периода колебания.

Когда звук проходит через воду, то для него всегда служат препятствиями большие массы пузырьков. Пузырьки эти поглощают звуковую энергию. Это очень легко показать, ударяя ложкой или ножом по высокому стакану, наполненному пивом или портером, над которым находится слой пены. Звук при этом получается абсолютно глухим; он значительно отличается от звона, который издает пустой стакан, или когда он отчасти наполнен водой. Пена поглощает энергию колеблющегося стекла.

Надо при этом помнить, что воздушные пузыри в воде похожи на трещины в шаре. Никакое колебание, подобное звуку, не может пройти с одной стороны трещины в металлическом шаре на другую ее сторону, так как воздух не передает через трещину тех напряжений, которые возникают с одной ее стороны; колебания должны вернуться назад; иначе говоря, они отражаются. Звон колокола не может происходить, если правильное течение звуковых волн встречает по дороге препятствие; поэтому колокол оказывается немым. Точно также пузырьки можно рассматривать как частичную трещину, пересекающую воду, хотя вода при этом оказывается разделенной не полностью, а только отчасти; это разделение, однако, достаточно, чтобы препятствовать звуковым волнам проходить через барьер, состоящий из пузырьков.

ков, особенно если эти последние представлены в достаточном количестве. Шум пароходного винта не проходит сквозь пенистую воду в кильватере<sup>1</sup>, хотя все же он обходит это препятствие за кормой.

Наконец, лорд Релей нашел еще одно очень красивое применение некоторых законов движения звуковых волн к сирене. Необходимо, чтобы звуки рожка могли распространяться в некотором воздушном слое у поверхности моря, а не подымались вверх в воздух или, что еще хуже, не опускались слишком низко к поверхности воды и не ослабевали, отражаясь и поднимаясь назад вверх.

В одном из наших опытов с сосудом мы видели, что волны быстро распространяются по всем направлениям, после того как они проходят сквозь узкое отверстие, точнее говоря, сквозь отверстие, ширина которого не больше длины самой волны. Когда это отверстие было шире, то волны действительно были лучше направлены и находились в некоторых определенных границах.

Поэтому лорд Релей предложил приделать к сирене трубу, которая с одной стороны была бы шире, чем с другой, и расширенную часть поставить вертикально. При этом звук распространяется горизонтально и не выходит из некоторого воздушного слоя над морем. Если бы не опыт с сосудом, то нам показалось бы несколько странным, что широкий конец воронки должен быть расположен в вертикальной плоскости.

Мы можем повторить опыт лорда Релей, который иллюстрирует это явление. „Птичий голос“, к которому приделана воронка, имеющая соответствующую форму, представляет сирену. Чувствительное пламя действительно оказывается вне звукового луча, который исходит из трубки, расположенной так, что ее широкая часть находится горизонтально; чувствительное пламя при этом не отвечает, но когда мы повернем трубу на прямой угол, то заметим, что пламя отвечает, а это показывает, что звук доходит до него.

---

<sup>1</sup> Кильватер — след, остающийся позади идущего корабля. *Прим. перев.*

## ЗВУК НА ВОЙНЕ

Много веков тому назад животные оставили море и перебрались на сушу, и у них развились современные уши с их удивительной способностью улавливать звуки. А теперь, после всего этого, люди во время войны должны снова опасаться сильного врага, который прячется в море, и во время войны снова возникает вопрос, как наилучшим образом иметь сведения о его присутствии, — как обнаружить субмарину. Воспользоваться ли нам для обнаружения субмарины снова волнами, происходящими вследствие изменения давления в воде, приспособить ли для этой цели звуковые колебания, или существуют какие-то другие методы, которые нам нужно еще открыть?

Большинство тех методов, которые раньше были предложены, по тем или иным причинам отпали сами собой. Часто предлагали применить для этой цели мощные подводные лампы, которые осветили бы внутренность моря и сделали бы субмарины заметными: в настоящее время мы действительно можем устроить очень мощные лампы. Но, к сожалению, свет не может проникнуть очень далеко в морские воды. Вода наполнена взвешенными в ней частицами, которые рассеивают лучи света во все стороны, когда эти лучи пытаются пройти сквозь воду. То же затруднение встречается и у шофера во время тумана. Пользуясь очень мощными фонарями для автомобиля, он ничего не выигрывает, так как дело сводится только к тому, что он освещает частицы тумана впереди себя и тем самым ослепляет свои глаза; когда фонари зажжены, ему гораздо труднее рассмотреть что-либо впереди себя в тумане, чем когда они потушены. Ясно ли виден тот или иной предмет или нет, — зависит гораздо более от того, насколько он выделяется на окружающем фоне, чем от того, какое количество света на него падает. Наши глаза имеют способность в очень широ-

ких размерах приноравливать свою чувствительность к свету: днем пламя свечи кажется очень тусклым; ночью же в комнате, где нет никакого другого освещения, оно кажется нам очень ярким. Несколько моих друзей измеряли,—постольку, поскольку в данном случае можно говорить об измерении,—освещение куска белой бумаги вблизи художника, набрасывавшего эскиз двери; было очень интересно наблюдать, как это освещение изменялось с наступлением вечера. Наконец, наступило время, когда художник сказал, что он должен прекратить свою работу, так как свет слишком слаб и он недостаточно хорошо видит, а потому не может рисовать. Было найдено, что свет при этом был приблизительно в десять тысяч раз слабее, чем свет при первых измерениях.

Поэтому направлять в море сильные лучи света в надежде осветить то, что происходит внутри него, бесполезно; действие наиболее сильного света в данном случае лишь не на много лучше действия любого другого света. Предел видимости в ясных водах западной Индии или в Средиземном море колеблется от тридцати до пятидесяти метров; в грязных водах Северного моря этот предел часто равен лишь нескольким метрам.

В нашем распоряжении находятся также электричество и магнетизм, но для обнаружения субмарин на больших расстояниях они имеют очень слабое применение. Причина этого очень проста: все электрические и магнитные действия ослабевают очень быстро при удалении от их источника. На расстоянии нескольких десятков метров от субмарины нельзя заметить никаких электрических или магнитных свойств, которыми она обладает. На этом расстоянии она производит эффект, который нельзя различить между большим количеством других электрических и магнитных явлений, которые хотя и слабы, но всегда и везде имеют место. Современные наши инструменты достаточно чувствительны, чтобы уловить чрезвычайно слабое электрическое или магнитное возмущение, но опять-таки возникает вопрос о „фоне“. Если можно было бы поставить чувствительный инструмент на очень твердый фундамент и если бы вокруг него не было никаких других электрических или магнитных возмущений, то он мог бы обнаружить субмарину, находя-

шуюся на расстоянии приблизительно одного километра; но в реальной обстановке совершенно безнадежно требовать подобных условий.

Если мы не можем определенно обнаружить субмарину на расстоянии километра или приблизительно на таком расстоянии, то мы, по вполне понятным причинам, фактически оказываемся беспомощными. Военное судно, охотясь за субмаринами, никогда не найдет их в открытом море, если оно не будет знать о их присутствии, когда они находятся от него самое большее на расстоянии километра. Его положение в этом случае можно сравнить с положением очень близорукого игрока в гольф<sup>1</sup>, который не видит, куда пошел его мяч; мяч же во всяком случае стремится изменить свое направление. Если, с другой стороны, субмарина преследует корабль, то последний находится в очень большой опасности, если он не может заметить своего врага в то время, как он находится на расстоянии одного километра от него. Мы сделали приблизительную оценку в „километр“, так как на этом расстоянии действия электричества и магнетизма совершенно исчезают.

Итак, нам приходится вернуться назад, к звуку: мы должны прислушиваться к колебаниям воды, которые происходят благодаря присутствию врага, и стараться обнаружить эти колебания с помощью надлежащих средств. Звук, по крайней мере при определенных условиях, можно расслышать на расстоянии, на много превышающем километр.

Наши уши действуют гораздо лучше и на много более тренированы, чем примитивные органы слуха, которые имеются у рыб; да и кроме того, субмарина не в состоянии двигаться так бесшумно, как рыба. И то и другое, образно выражаясь, льет воду на нашу мельницу. Но нам надо еще рассмотреть много других обстоятельств.

---

<sup>1</sup> Гольф — очень распространенная в Англии игра в мяч. Состоит она в следующем: по мячу ударяют особой палочкой, стараясь провести его через 18 дырочек, сделанных в дерне и обозначенных флажками. Расстояние, которое нужно таким образом пройти мячу, довольно велико (около 200 м). Местность для игры выбирается обычно холмистая, так что цель видна издали с трудом; поэтому для игры необходимы хороший глазомер и хорошее зрение вдаль. Выигрывает тот, кто наименьшим числом ударов провел шар через все дырочки. *Прим. перев.*

Мы не в состоянии продолжительное время пользоваться своим органом слуха под водой, как это требуется в данном случае. Мы должны для этого пользоваться какими-то механическими средствами, какими-то вспомогательными посредниками, которые улавливали бы звуки в воде и передавали бы их нашим ушам; а в этом-то и заключается одно

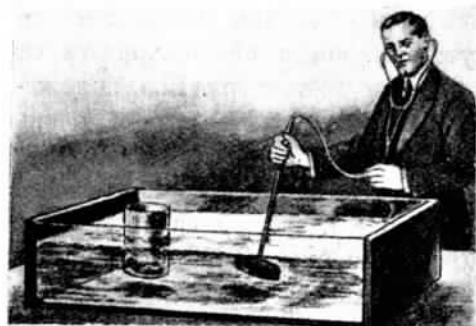


Рис. 77.

из величайших затруднений, так как мы не можем передавать звуки, не искажая их при этом в той или иной степени. Очень совершенное устройство нашего уха в некоторых случаях имеет отрицательное влияние: будучи очень чувствительным к восприятию тончайших оттенков и

градаций звуков, наши уши могут нас легко ввести в заблуждение, если звуки по дороге искажаются.

Существует очень простой способ передавать звуки, который мы можем тотчас же испытать; этот способ был уже давно применен Колладоном (Colladon) при измерении скорости звука на Женевском озере. Для этого достаточно погрузить в воду полое тело, как, например, жестянку, резиновый мяч или даже закупоренный с одной стороны кусок резиновой трубы, и находящийся внутри нее воздух соединить с ухом трубкой, имеющей достаточную длину (рис. 77); на конце трубки удобно поместить стетоскоп, но в этом вовсе нет абсолютной необходимости. Звуковые пульсации сжимают под водой погруженную в нее воронку и посылают пульсации вверх в наше ухо через воздух, на-

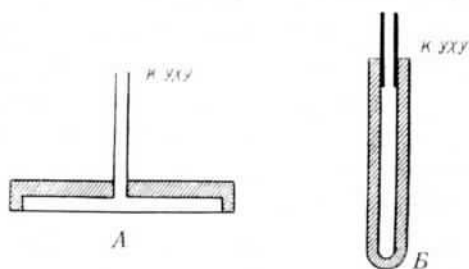


Рис. 78 и 79 А — сосуд с металлическими стенками; Б — закрытая резиновая трубка.

ходящийся в трубке. С помощью этого прибора вы можете прислушиваться к тиканью часов, находящихся в жестянке, которая плавает внутри сосуда, что и показано на нашем рисунке. Этот простой снаряд, особенно в том случае, когда стенки воронки сделаны из резины, не искажает сильно звуки. Если одна из стенок снаряда сделана из тонкой металлической пластинки, то он гораздо шумливее и притом он сильно искажает звук. Стенка эта имеет собственный период колебания; получая толчок, она всякий раз начинает колебаться с этим собственным периодом. Совершенно постоянный звук не возбуждает этих колебаний, но внезапный импульс вызывает их. Когда первый удар подводного колокола достигает пластинки, эти колебания бывают очень сильными, но их сила ослабевает при последующих звонках. На каждое изменение звука пластинка реагирует, как на удар; и действительно, в то время как происходит ряд тех звуков, которые мы желаем расслышать под водой, имеют место непрерывные изменения. Следовательно, первоначальный звук заглушается нестройными звуками, которые издает стенка, и тонкая аналитическая способность нашего уха в значительной степени пропадает даром.

Такого же рода явления имеют место в телефоне и при записи звуков с помощью фонографа, а также при игре граммофона. Всегда имеются части инструмента, как, например, диски слюды, стенки рупора или углубления, которые имеют свой собственный тон и мешают верной передаче звуков. Мы уже знаем, что правильная передача звуков гораздо важнее, чем даже сила переданного звука. Уже давно замечено, что лица, имеющие дело с приборами для улавливания звуков, предпочитают приборы, передающие звук более правильно, даже в том случае, если они передают звук ослабленно; громкие звуки привлекают только начинающих.

Неправильная передача звуков значительно усиливается, если на эту передачу имеет влияние резонанс. Явление резонанса мы можем иллюстрировать с помощью двух совершенно одинаковых камертонов. Я заставляю сильно звучать камертон *A* и почти сразу останавливаю его рукой; при этом оказывается, что камертон *B* звучит, хотя я его не касался. Тогда я отнимаю свою руку от камертона *A* и

через несколько секунд касаюсь камертона *B*, прекращая таким образом его колебания. Тогда оказывается, что камертон *A* снова звучит. Таким образом звук передается поочередно от одного камертона к другому. Но если *B* имеет несколько иной период колебания (несколько иной тон) чем *A*, то это явление не имеет места. Поэтому если нужно уловить постоянный тон в звуке, которому соответствует некоторый тон самого инструмента, то этот тон оказывается совершенно некстати особенно сильным, и благодаря этому звук искажается.

Для передачи нашему уху звуков от прибора, улавливающего их, употребляют некоторые электрические приспособления. Не всегда бывает удобно, а иногда это и невозможно, соединить прибор, улавливающий звуки, с нашим ухом с помощью воздушного канала, как это показано на рис. 78: для такого соединения нужно иметь слишком длинную и громоздкую трубку. Электрическая передача звука гораздо более гибка: к пластинке, улавливающей звуки, присоединяется с внутренней стороны микрофон, как это показано на рис. 80, и звуки передаются обычным образом с помощью электрического тока. Прибор, улавливающий звуки, есть в данном случае не что иное как телефон, которым можно пользоваться под водой. Иногда этот прибор помещают в резервуар, наполненный водой, при чем одна его сторона вделана в борт парохода. Звуки колокола проходят через борт парохода и передаются в воду, которая находится в резервуаре, вызывая колебания металлической пластинки; эти последние с помощью микрофона переходят в электрические колебания, а электрические приспособления передают их в кабину, где находится слушатель. Такой прибор, хотя он и удобен, но зато сложнее прибора, который мы описали выше (рис. 78), и в нем каждый электрический контакт усиливает неправильность передачи звука. Приборы, имеющие такое устройство, были во время войны изготовлены в очень большом количестве, и ими были снабжены, главным образом, небольшие сторожевые суда, охранявшие морские побережья. Этот прибор показан на рис. 80.

Интересно наблюдать за изменением в записи звука, которое происходит при устранении подобного рода затруд-

нений. Две кривые на рис. 81 делают это изменение наглядным; электрический ток, проходя через микрофон, приводит в движение очень легкое зеркальце, которое отбрасывает лучи света на движущуюся кинематографическую ленту и делает таким образом фотографические записи, подобные указанным на нашем рисунке. Два подводных инструмента делали записи, когда мимо них проходил корабль, хотя, правда, эти записи производились не вполне одновременно. Запись, которая видна наверху, была сделана микрофоном, снабженным небольшой металлической пластинкой, как это показано на рис. 80, а нижняя запись — микрофоном, который был вставлен внутрь куска резины. В последнем случае не было металлической полоски, которая бы имела собственный период колебания; резина подобных периодов колебания не имеет. Мы видим, какая при этом происходит разница в форме записи;

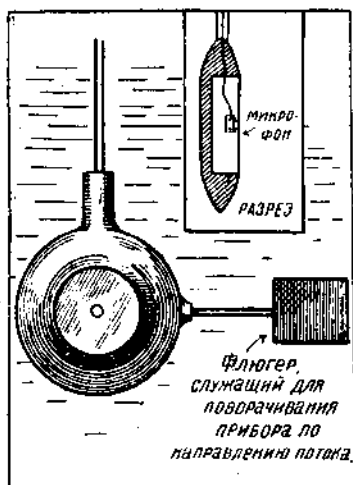


Рис. 80. Прибор для улавливания звуков, который применяли во время войны «дрифтеры», охранявшие берега Англии. Прибор опускали в воду на конце кабеля, внутри которого находилась проволока, соединенная с микрофоном.

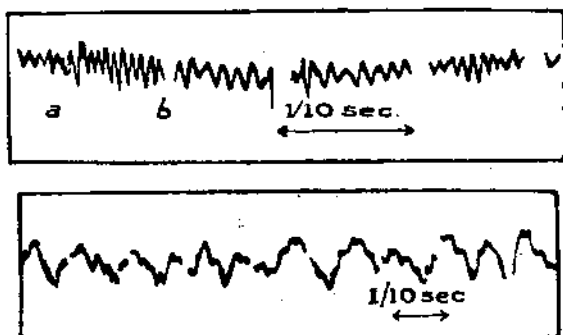


Рис. 81. Верхний чертеж представляет собой запись, сделанную микрофоном, вставленным в металлическую пластинку, как это показано на рис. 80. Нижний чертеж представляет запись микрофона, вставленного в резиновую пластинку.

действительно, между *a* и *b* в верхней записи имеется ряд правильных зигзагов, которые обязаны своим происхожде-

нием инструменту, а не звукам корабля. В нижней записи мы не находим подобного ряда зигзагов.

Предположим, что мы, по возможности, удовлетворительно превозмогли трудности передачи звуков из воды нашему уху без искажения; тогда мы встречаемся с еще более трудной задачей — с необходимостью уловить шум субмарины среди множеств других звуков. Если мы возьмем один из приборов, которые мы описали, и попытаемся использовать его на борту парохода, то мы найдем, что вода вокруг судна часто наполнена шумом, делающим незаметными звуки, которые мы хотим расслышать. Правда, около неподвижного судна в тихом море нет никакого возбуждающего шума, если только машина на нем не работает. Но если море бурно, то шум происходит вследствие ударов воды о корабль; во время плавания шум вызывается движением корабля в воде, а в некоторых случаях также и движением приборов внутри воды; когда же корабль приводится в движение машинами, то вращение винта и работа главной и вспомогательной машин производят очень много шума. При подобных условиях трудно уловить шум, производимый субмариной, подобно тому как человеку, находящемуся внутри автомобиля и проезжающему мимо забора, трудно расслышать движения находящегося на заборе воробья. Останавливаться же для того, чтобы прислушиваться к звукам во время войны, вообще говоря, очень опасно.

Наконец, когда современные субмарины плывут не слишком быстро, то их движение происходит очень бесшумно. При движении судна шум производит главным образом гребной винт. Вращаясь, он оставляет в воде позади своих лопастей пустые пространства. Когда стенки этих пустот смыкаются, то при этом происходит шум. Скопление подобного рода звуков — вот что мы больше всего слышим в приборах, улавливающих звуки. Сквозь эти звуки до нас доносятся стук машин, шум вращения турбин или другие специальные шумы, которые обязаны своим происхождением, главным образом, возникновению упомянутых пустот. Если гребной винт вращается тихо, то пустоты не образуются, и при этом возникает очень мало шума. Субмарина

не должна слишком спешить, тогда ее присутствие не будет замечено <sup>1</sup>.

Итак, мы видим, что передача нашему уху звуков, происходящих в море, сопряжена с большими затруднениями. На практике были найдены способы избежать этих трудностей — способы, которые при соответствующих условиях оказываются вполне действительными, но рассказывать об этом подробнее я не имею права.

К этому же вопросу можно подойти и с другой точки зрения. Если, прислушиваясь к различным шумам, наблюдатель и может установить, что вблизи него находится субмарина, то от этого ему будет мало проку, если он не сумеет точно указать, с какой стороны парохода она находится. Необходимо устроить прибор, который указывал бы направление, откуда звук исходит. Метод отыскания этого направления основан на принципе, описанном покойным лордом Релеем. Предположим, что плоская пластинка, колеблясь, сообщает воздуху звуковые пульсации. Оказывается, что в плоскости, проходящей через пластинку, совершенно не распространяются звуки или они распространяются в очень незначительной степени. Справедливо также и обратное: если пластинка расположена вдоль направления, по которому распространяется звук, то звуковые волны проходят мимо обеих поверхностей пластинки, их действие на пластинку уравнивается, и потому она остается в покое.

Вот, например, перед вами кусок слюды, оправленный кольцом. В середине слюдяной пластинки находится микрофон, соединенный с помощью проволок с громкоговорителем. Когда я заставляю звучать камертон и держу его с одной



Рис. 82. Когда камертон держат в плоскости диска, то громкоговоритель издает слабые звуки; когда же камертон держат с той или другой стороны диска, то громкоговоритель громко ему вторит.

<sup>1</sup> Во время лекции граммофон воспроизводил шумы кораблей и субмарин, которые были фиксированы с помощью фонографа.

стороны слюды, то мы все можем ясно расслышать звуки громкоговорителя; но после того как я поворачиваю камертон таким образом, что он оказывается в той же плоскости, что и слюдяная пластинка, то звуков уже больше не слышно. Слюда перестает колебаться в ответ на колебания камертона, так как теперь звуковые волны проходят мимо каждой ее стороны, и давление, которое они производят с обеих сторон пластинки, уравнивается. В этом опыте я должен был воспользоваться громкоговорителем и держать камертон вблизи слюды для того, чтобы эффект при этом получился

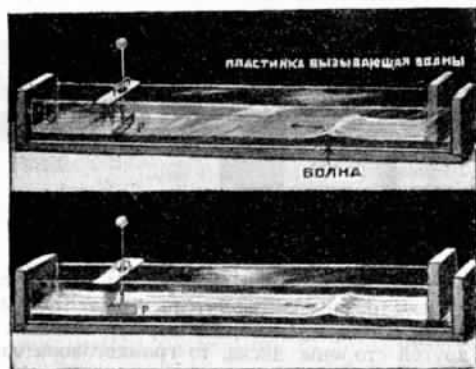


Рис. 83. Модель, иллюстрирующая действие „направленного“ гидрофона.

достаточно громким и мог бы быть всеми услышан. Если бы мы решили слушать звуки по одному человеку каждый раз, то мы могли бы применять обыкновенные телефоны и поместить источник звука на значительном расстоянии от пластинки. Для того чтобы уяснить себе этот закон лучше, мы сделаем опыт с моделью. Над сосудом, содержащим небольшой слой воды, подвешен короткий маятник. Внизу маятник переходит в лопатку, которая погружена в воду. Теперь маятник установлен так, что он может качаться вдоль сосуда, между тем как его лопатка качается поперек него. У одного конца сосуда я вызываю волну, которая передвигается дальше вдоль него; когда эта волна достигает лопатки маятника, то последний начинает качаться. Теперь я поворачиваю маятник на  $90^\circ$ ; таким образом он может качаться только поперек сосуда, в то время как лопатка направлена вдоль сосуда. Когда волна достигает маятника, то при этом он остается в покое.

Точно так же, когда пластинку, к которой приделан микрофон, держат таким образом, что источник звука находится в плоскости, проходящей через его края, то при этом ничего не слышно; шум становится слышным, как только пла-

достаточно громким и мог бы быть всеми услышан. Если бы мы решили слушать звуки по одному человеку каждый раз, то мы могли бы применять обыкновенные телефоны и поместить источник звука на значительном расстоянии от пластинки.

Для того чтобы уяснить себе этот закон лучше, мы сделаем

стинку поворачивают таким образом, что она оказывается обращенной к источнику звука.

По этому способу устроен особый прибор, который и применяется на море. Тяжелый ободок служит оправой для металлической пластинки, к центру которой прикреплена небольшая непроницаемая для воды коробочка, содержащая микрофон. Этот прибор опускают в море на конце длинной трубки, которая служит также и для передачи электрического тока. Если поворачивать этот прибор, то при некотором его положении звуки перестают быть слышными; это положение как раз и указывает направление, откуда приходят звуки. Однако таким образом не определяется еще окончательно направление, в котором находится источник звука: нам надо узнать еще, находится ли он справа от опущенной в воду трубки, которая удерживает наш прибор, или слева от нее.

В лабораториях морского ведомства было сделано одно очень любопытное открытие, которое устраняет это затруднение. Оказывается, что этот прибор можно сделать глухим с одной стороны, помещая у одной из его стенок пластинку из какого-нибудь материала, который не должен давать резонанса (иначе говоря, пластинка должна при ударе издавать глухой звук); эта пластинка



Рис. 84.

должна содержать определенных размеров пространство, наполненное воздухом. Более того, пластинка должна быть помещена на некотором вполне определенном расстоянии от микрофона. После того как к прибору сделано такое добавление, сомнение в том, с какой из двух противоположных сторон происходит звук, устраняется. Прибор лучше всего улавливает звуки, когда они исходят из той его стороны, которая находится дальше всего от пластинки. Когда к источнику звука направлена другая сторона прибора или его края, то звуки передаются очень слабо.

Другой способ определения направления, откуда исходит звук, основан на принципе бинауральности, который мы уже рассмотрели. Вообразите, что в море погружены два обыкновенных гидрофона (например показанные на рис. 80 или простые, не электрические приборы для улавливания звуков, изображенные на рис. 79) и что каждый из них соединен с соответствующим ухом. Если бы наши уши находились в том месте, где находятся гидрофоны, и мы могли бы пользоваться ими в этом положении, то мы были бы в состоянии определить направление, откуда исходят звуки, подобно тому как мы это делаем в воздухе. Если бы гидрофоны передавали нашим ушам звуки точно таким же образом, каким они их получают, то, двигая их, можно было бы найти направление, в котором нам бы казалось, что звук одинаково хорошо слышен в обоих ушах. При этом оставалось бы еще сомнение, приходит ли звук спереди или сзади головы, которую мы воображаем под водой; но это сомнение легко сразу устранить, поворачивая несколько гидрофоны в ту или в другую сторону и замечая, в каком ухе, как нам кажется теперь, происходит звук. На практике найдено, что электрические гидрофоны настолько искажают звуки, что с их помощью наши уши не в состоянии удовлетворительно определить направление, в котором распространяется звук; но простые приборы для улавливания звуков, которые изображены на рис. 79, будучи сделаны из резины, действуют очень хорошо.

Этот принцип во время войны был использован саперами враждующих армий. Когда солдаты проводили подкопы к линиям неприятеля, они часто могли подслушать шумы, которые он производил своими криками, орудиями или при

своих передвижениях. Необходимо было в этих случаях найти направление, откуда происходил звук. С этой целью употреблялись пары приборов, которые показаны на рис. 85. Внутри деревянного ящика, имеющего около семи сантиметров в поперечнике и около двух в глубину, находились два слюдяных диска, между которыми помещалась тяжелая масса ртути; под дисками и над ними находилось пустое пространство, которое можно было соединить с ушами с помощью трубок. Когда необходимо было улавливать звуки, не пытаясь определить направления, откуда они происходят, то этот прибор — геофон — клали на землю, и оба воздушных пространства соединялись с ушами. Звуковые пульсации, которые проходили через землю, раскачивали геофон, но тяжелая ртуть оставалась в покое, между тем как коробка двигалась по направлению к ртути. Следовательно, воздушные пространства, находившиеся над ртутью и под нею, попеременно то сжимались, то расширялись, и пульсации проходили по трубкам к нашим ушам. Движение противника можно было расслышать на расстоянии шести, пятнадцати или тридцати метров в зависимости от условий.

Когда необходимо было определить направление, откуда исходил звук, то пользовались двумя геофонами. Одна трубка каждого геофона была заткнута пробкой, а другая соединялась с ухом наблюдателя, как это показано на рисунке. Если линия, соединяющая геофоны, не образовывала прямого угла с направлением, в котором распространялся звук, то пульсации достигали одного геофона раньше, чем другого, и наблюдателю казалось, что он слышит звук в ухе, соединенном с соответствующим геофоном. Он мог передвигать геофоны на полу до тех пор, пока звук не становился одинаково хорошо слышен в обоих ушах. Тогда он мог узнать



Рис. 85. Сапер с помощью двух геофонов (каждый из них соединен с соответствующим ухом) определяет место, где неприятель проводит минные галереи. Детали геофона показаны на чертежах справа.

направление, в котором находится противник; здесь не было сомнения подобного тому, какое было на море, так как враг находился всегда спереди. Если, кроме того, для определения направления распространения звука пользовались геофонами еще и в другом месте, то оба эти направления можно было нанести на карте и найти таким образом место, где неприятель производил работы. Помещая геофоны на стене один над другим, можно было определить вертикальную плоскость, в которой распространялся звук, что также часто нужно было знать <sup>1</sup>.

В журнале, из которого взято это описание геофона, дается вычисление операций, произведенных геофонами, и эти вычисления очень хорошо иллюстрируют их применение. Однажды англичанам надо было провести подкоп для того, чтобы взорвать неприятельские проволочные заграждения. Когда эта работа приходила к концу, то заметили, что противник, к которому время от времени прислушивались, находился всего только на расстоянии двух метров, и можно было хорошо расслышать смех и разговор в германских галлереях. Было очень важно узнать, не встретятся ли оба подкопа, так как это привело бы британские операции к преждевременному концу и помешало бы выполнению намеченных планов. Однако с помощью сравнения записи всех геофонов было найдено, что германская галлерея, хотя она находилась вблизи британской, однако была проведена параллельно ей и было мало шансов на то, чтобы произошла встреча. В соответствии с этим британские работы не были прерваны и были доведены до конца.

Мы подошли теперь к вопросу о наиболее важном использовании звуков на войне: к определению местонахождения неприятельских орудий. Французами были сделаны первые попытки использования звуков для этой цели; работы англичан в этом направлении начались на год позже.

Граната современных скорострельных пушек, пролетая мимо, производит треск, напоминающий взрыв. Наблюдая за звуками гранат или за звуками, происходящими при выстреле самого орудия, можно путем вычисления опреде-

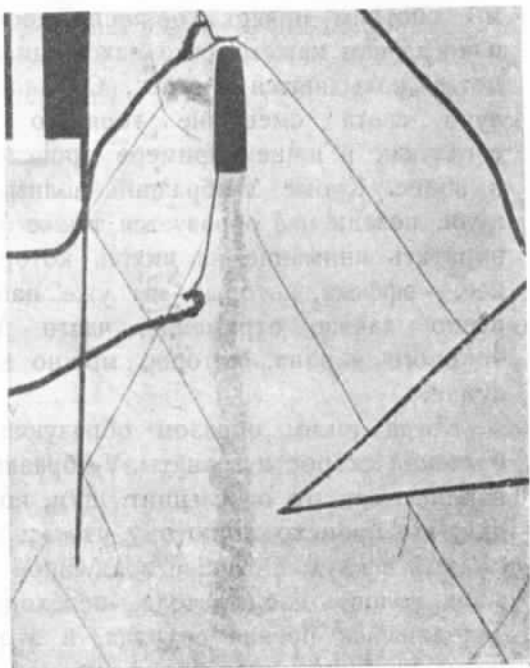
---

<sup>1</sup> См. H. G. Bull. Institute of Mining and Metallurgy, 10 апреля 1919 г.

лить его местоположение. В начале войны употреблялся, главным образом, первый метод, но затем в английской армии стали применять второй метод.

Оба метода представляют очень большой интерес. Рассмотрим сначала звуки, которые происходят при полете гранаты.

Когда лодка или плавающее животное движется с достаточно большой скоростью по поверхности тихого озера, мы наблюдаем, как волны, которые распространяются с каждой стороны животного, образуют V-образную границу, как это показано на рисунке. Это явление не имеет места, если движение тела происходит не быстрее движения тех волн, которые оно вызывает. Следовательно, тело должно находиться, если можно так выразиться, на гребне этих волн. Точно



*Рис. 86.* Фотографический снимок летящей пули (выпущенной из карабина Мартини-Генри), сделанный Ч. В. Бойсом. Ясно видны две V-образные волны: одна из них образуется у острого конца пули, а другая у тупого.

такие же явления происходят и в воздухе, когда пуля или граната движется в нем со скоростью, превышающей скорость звука; это обыкновенно происходит при полетах пуль и снарядов современных ружей и орудий. Когда это происходит, то образуется точно такая же V-образная волна, но эта волна теперь происходит в воздухе. Это явление очень красиво показано на фотографии, которую сделал несколько лет тому назад Ч. В. Бойс (C. V. Boys). Здесь находится снимок, который сделан при полете пули из карабина Martini-Henry (рис. 86); эта пуля движется со ско-

ростью, превышающей скорость звука, и тем не менее она кажется находящейся в покое, так как электрическая искра, которая отбрасывает ее тень на фотографическую пластинку, продолжается только очень незначительную долю секунды. V-образная волна очень сильно сжата, и в ней происходит преломление света, подобно тому как оно происходит, когда мы смотрим поверх горящего костра в открытом месте и когда нам кажется, что находящиеся позади костра предметы „колыхаются в огне“. Однако в том случае изгибает лучи света смешение горячего и холодного воздуха, тогда как в нашем примере происходит сжатие воздуха в волне. Кроме V-образной волны, находящейся впереди пули, позади нее образуется также V-образная волна; надо обратить внимание на вихри, которые образуются позади нее, — эффект, который мы уже наблюдали раньше. Интересно также отражение части V-образной волны от бокового экрана, которое можно заметить на нашем рисунке.

Когда таким образом образующаяся, благодаря очень большой скорости гранаты, V-образная волна проходит мимо наблюдателя, то он слышит шум, похожий на выстрел орудия; это происходит потому, что эта волна содержит сильно сжатый воздух. Обычное воздушное давление, которое окружает голову наблюдателя, переходит в давление волны, находящейся позади снаряда, и это изменение, происходя очень внезапно, производит сильное действие на наши уши. Волна, происходящая при взрыве — *onde du choc*<sup>1</sup>, как ее называют французы, происходит всякий раз, когда некоторое тело движется быстрее, чем звук. Концы аэропланного пропеллера могут развивать подобную скорость, и находящемуся вблизи них наблюдателю кажется, что он слышит ряд звуковых ударов, напоминающих собою револьверные выстрелы. Щелканье кнута, похожее на выстрел, происходит несомненно по той же причине: волна пробегает вниз по плети и передает энергию концу плетки, который настолько легок, что он приходит в очень сильное движение.

В мемуаре, опубликованном Королевским Обществом в 1908 году, Маллок (Mallock) описывает опыты, произ-

---

<sup>1</sup> Дословный перевод: волна сотрясения. *Прим. перев.*

веденные со звуком волны сотрясения. Он нашел, что наблюдатель может всегда определить направление, в котором, как ему кажется, распространяется звук: действительно, при бинауральном слушании звуковая волна доходит до одного уха раньше, чем до другого. Он нарисовал диаграмму, на которой нанес расстояние от наблюдателя до орудия, и направление, в котором, как кажется наблюдателю, распространяется звук. Но в действительности ни одна из этих стрелок (рис. 87) не направлена в то место, где находится

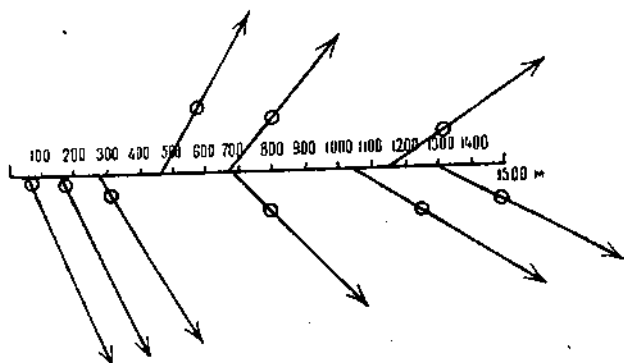


Рис. 87. Диаграмма, взятая из мемуара Маллока, опубликованного в Proceedings of the Royal Society (1908), стр. 115. Из „места выстрела“ стреляют в „мишень“, находящуюся на расстоянии 900 м. Над головами наблюдателей, положения которых обозначены кружками, происходит „onde du choc“. Каждый из них отмечает направление, откуда, как ему кажется, исходит звук; эти направления указаны на диаграмме стрелками; в каждом отдельном случае направление перпендикулярно проходящему мимо наблюдателю.

орудие. Каждое наблюдение указывает только направление, в котором волна сотрясения распространялась. Когда пуля или снаряд опускаются вниз, то V-образная волна спереди притупляется все более и более: направления, которые были найдены наблюдателями в опыте Маллока, были по мере удаления от орудия все менее и менее наклонены к тому направлению, в котором двигался снаряд.

На основании подобного рода наблюдений можно действительно определить место, в котором находятся орудия. Правда, чертежи, которыми пользуются для этих вычислений, бывают различны для различного рода орудий, и поэтому необходимо знать, из какого рода орудия был произведен данный выстрел. Этот метод, несмотря на трудности, применялся во время войны, и он был значительно разработан.

Очень простой и очень действительный метод, основанный на наблюдениях звука, происходящего во время самого выстрела орудия, был применен британской армией. Предположим, что из какого-нибудь орудия был произведен выстрел

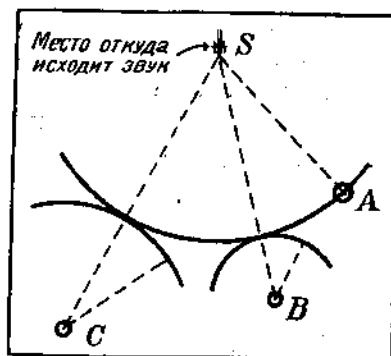


Рис. 88. Схема, иллюстрирующая, как по звуку определяют местоположение звучащего тела.

и что в трех точках  $A, B, C$  (рис. 88) находятся наблюдатели с микрофонами, которые записывают и сравнивают моменты времени, когда до микрофонов доходит звуковая волна. Опишем теперь вокруг  $B$  круг, радиус которого равен расстоянию, которое пройдет звук в течение времени, прошедшего между наблюдениями  $A$  и  $B$ . Вокруг  $C$  опишем окружность с радиусом, равным

расстоянию, которое проходит звук в промежуток времени между наблюдениями  $A$  и  $C$ . Теперь опишем окружность, которая проходила бы через  $A$  и касалась бы окружностей, описанных

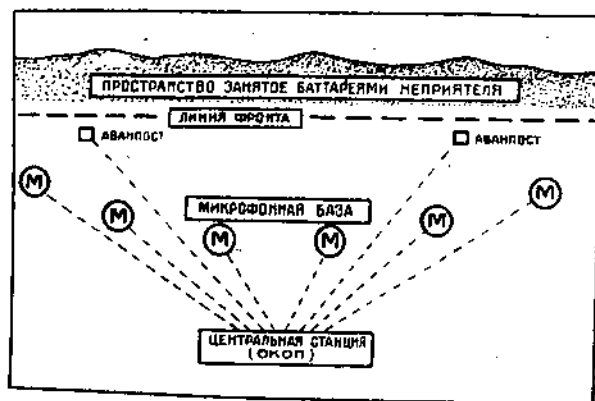


Рис. 89. Схема расположения станции, определяющей по звукам местоположение орудий.

вокруг  $B$  и  $C$ . Центр этой окружности и определяет положение орудия (рис. 88). На практике применяется шесть микрофонов; такое большое количество необходимо для того, чтобы иметь возможность определить положение орудия с большей точно-

стью, и для того, чтобы вычисления можно было сделать и в том случае, когда одно или два наблюдения ошибочны. От каждого микрофона проведены проволоки в центральные станции (рис. 89), где каждая проволока соединена с своим собственным автоматическим регистратором. Действие каждого регистратора состоит в том, что он чертит тонкую линейку на кинематографической ленте. Когда микрофоны не передают никакого возмущения, то регистратор чертит на фильме шесть прямых параллельных друг другу линий; но когда звуковая волна, происходящая

вследствие орудийного выстрела, достигает какого-нибудь микрофона, то соответствующая линия прерывается. На рис. 90 указана запись выстрелов неприятельских гаубиц. Мы замечаем ряд последовательных разрывов, которые происходят, когда звуковая волна по очереди достигает микрофонов. При наблюдении времени необходимо соблюдать очень большую точность: кинематографическая лента движется очень скоро, как мы это можем

заметить по масштабу времени, который находится на рисунке. Действительно, в течение одной секунды можно сделать две или даже три тысячи наблюдений.

База, на которой помещались микрофоны, имела в длину около 8 200 м и по фронту около 3 600 м. Центральная станция помещалась в погребе или в окопе на расстоянии 4 000—5 000 м от линии фронта. Впереди базы находились аванпосты, на каждом из которых помещался наблюдатель. Когда до него доходили звуки выстрела неприятельских орудий и он находил, что их следует записать, то он нажи-



Рис. 90. Кусок кинематографической ленты со «следами» от выстрела германской 15-сантиметровой гаубицы. Горизонтальные линии,—это записи, сделанные пером автомата; пока волна выстрела не доходит до соответствующего микрофона, эти линии представляют собою непрерывные прямые. Вертикальные прямые указывают время; каждое деление их соответствует  $\frac{1}{100}$  секунды.

мал кнопку, которая приводила в действие все приборы на центральной станции. После того как все микрофоны успели все зарегистрировать на ленте, последняя проявлялась, фиксировалась, измерялась, и записи ее прочитывались; через несколько минут на батарее посылалась телефонограмма, в которой сообщалось местоположение неприятеля.

Когда определяемое расстояние равно 10 000 м, то средняя ошибка бывает равна около 50 м. Приборы для определения расстояния по звукам работают при тумане и во всякую погоду; только в том случае, когда западный ветер дует по направлению к орудиям, звуковые волны, распространяющиеся от

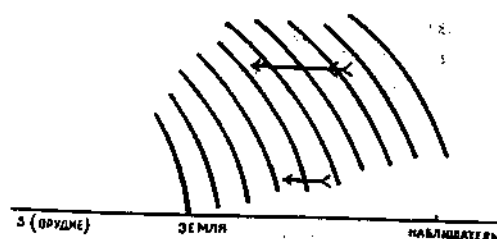


Рис. 91. Звук, распространяющийся навстречу ветру, поднимается над землей и проходит над головой наблюдателя.

орудий, поднимаются вверх над головою, и тогда невозможно производить никаких наблюдений. Эти приборы можно было применять для определения большинства местоположения орудий на фронте; с другой стороны, при-

менялись также фотографические наблюдения, сделанные с аэроплана, и оба эти метода поправляли друг друга.

Причину, почему звуки поднимаются в воздух, когда они движутся против ветра, легко понять из рисунка 91. Звуковые волны распространяются от источника *S*, но ветер внизу задерживается препятствиями, которые он встречает у поверхности земли, и дует около почвы медленнее, чем наверху. Поэтому верхние части волн загибаются назад, как это показано на рисунке, и весь ряд волн, направляясь вперед под прямым углом к их поверхности, поднимается в верхние слои воздуха. Таким образом наблюдатель оказывается совершенно вне того пути, по которому распространяются звуки.

Во время войны часто можно было наблюдать, что, хотя на фронте и происходило подобное поднятие звука, все же глубоко в тылу, например в Англии, выстрелы орудий были хорошо слышны. Легко видеть, как это могло произойти, хотя быть может в различных случаях это явление можно различным образом объяснить. Это может, например, про-

изойти, если внизу дует западный ветер, а наверху восточный, и звуковые волны сначала отбрасываются назад и поднимаются вверх, как это уже было выяснено. Но когда звуки достигают верхнего воздушного течения, которое направлено в противоположную сторону, то они опять поворачивают и снова спускаются вниз.

Приборы для определения расстояния по звукам, которыми пользовались в армии во время войны, применялись также и морским ведомством для разрешения очень важной задачи — нахождения места, где на море произошел взрыв. В этом случае гидрофоны, которые были уже описаны раньше, заменяли собой микрофоны. Места, куда их помещали, находились на расстоянии нескольких километров от берега, и их положение было точно определено. Там устраивалась база, которая имела около двадцати пяти километров в длину.

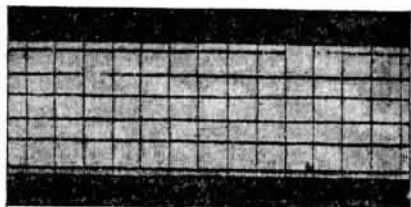


Рис. 92. Определение расстояний на море с помощью гидрофонов. Снимок с действительной записи взрыва, происшедшего на расстоянии ста километров от прибора. Масштаб времени тот же, что и на рис. 90.

Все эти гидрофоны были соединены подводными кабелями с центральной станцией на берегу, в которой были установлены такие же приборы и приспособления, какие применялись в армии, с той только разницей, что все это находилось вне линии огня, а потому было устроено более комфортабельно и удобно. Микрофоны тотчас же отвечали на дошедшую до них волну отдаленного взрыва: происходило это потому, что небольшие зерна углерода в микрофоне перетасовывались при малейшем ударе, особенно если удар был резким, подобным удару трещетки, в которой одна твердая поверхность ударяет о другую. Волна, происходящая при взрыве, имеет точно такой же характер. Узкая часть V-образной волны на фотографиях Бойса показывает, насколько внезапно должно быть ее действие, когда она проходит мимо. Вода передает подобного рода резкие волны очень хорошо. Следовательно взрыв может быть зарегистрирован на очень большом расстоянии. Как именно велико это расстояние, этого до сих пор не определили. План распо-

ложения микрофонов и электрических приспособлений разрабатывается до сих пор. Опыты, которые произвел Кюльвер (Culver) на Белом острове, показывают, что снаряды, взрывающиеся в глубине, выброшенные за борт истребителями вблизи берегов Франции, были очень хорошо записаны приборами, находившимися на английском берегу. В позднейших работах взрывы улавливались на расстоянии сотен километров.

Станция для определения расстояния по звукам, распространяющимся под водой, может определить местоположение взрыва, который отдален от нее не больше чем на шестьдесят-семьдесят километров. Соединение двух станций, отстоящих друг от друга на сто километров, может указать нам местоположение взрыва, произошедшего на расстоянии около трехсот километров с точностью до трех четвертей километра.

Эта система, хотя она была приспособлена для военных целей, может дать также очень хорошие результаты и в мирное время: ее можно с пользою применить для составления морских карт. Вообразите себе корабль, производящий исследование при облачном небе вдали от суши в Северном море, где вокруг него нет ни единого острова, по которому он мог бы судить о своем местоположении. Положим, что он нашел обломки корабля, конец минного поля или песчаную отмель, которые нужно нанести на карту. Он бросает в море взрывающийся снаряд; звуки от взрыва распространяются дальше и доходят до гидрофонов, расположенных на английском берегу; записи здесь проявляются, читаются и через несколько минут отмечается положение парохода на карте, и если это необходимо, то кораблю отправляется соответствующее сообщение по беспроволочному телеграфу. Возможно также, что этот метод можно применить и для определения местоположения кораблей, которые, делая галс<sup>1)</sup>, сбились с пути в тумане. Точно так же аэроплан может отправить донесение на берег, время получения которого регистрируется и на основании которого отмечается его местоположение.

Наконец, мы должны также на минутку остановиться на использовании звуков во время войны в воздухе. Очевидно,

<sup>1)</sup> Галс — курс корабля относительно ветра. Если корабль идет под парусами и ветер дует ему в правый борт, то говорят, что корабль идет правым галсом. Сделать галс — значит пройти какое-нибудь расстояние одним галсом.

*Прим. перев.*

что существуют способы определения направления, откуда исходит шум от аэроплана. Так, например, мы можем использовать свойство вогнутого зеркала для того, чтобы сосредоточить эти звуки в одном месте, как мы это видели в одном из предыдущих опытов (стр. 18, рис. 16). Гул аэроплана имеет очень низкий тон, и, следовательно, звуковые волны при этом очень длинны, а потому и зеркало нужно сделать соответственно большим. Это последнее обстоятельство не вполне удобно, но нет никакой необходимости в том, чтобы зеркало нужно было легко и быстро двигать в то время, как им пользуются, пытаясь уловить звуки. Если зеркало устроено неподвижно, то движется фокус; его положение в любой момент может быть определено каким-нибудь удобным аппаратом для слушания звуков. Направление звука при этом может быть найдено простым вычислением. Приборы для определения расстояния по звукам могут быть применены только в том случае, когда они регистрируют время прихода волны от взрыва, т.-е. резкой и отчетливой пульсации. Но когда необходимо прислушаться к звукам, которые издают субмарины, то направление их мы этим способом определить не можем, так как звук субмарины более или менее непрерывен. Возможно, что принцип бинауральности применим, как простейший метод для нахождения направлений; соответствующими способами его можно усилить; можно, например, применять особые слуховые трубы, которые представляются к ушам, и, действительно, таким образом можно очень точно определить направление. При этом мы встречаемся с одним очевидным затруднением: раньше чем звук отдаленного аэроплана доходит до наблюдателя, проходит несколько секунд, а в это время аэроплан передвигается на некоторое расстояние. Траектория, по которой летит аэроплан, может быть определена, но никогда нельзя точно указать время, когда аэроплан находится на том или ином месте своего пути.

Здесь мы должны остановиться. Звук, как вы видите, играл очень большую роль во время войны; он применялся на всех участках боевого фронта: в воздухе, на земле, под землей и на море. Точно так же верно и, я думаю, очень интересно, что почти все, что было известно относительно звука, нашло свое применение во время войны.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА ЛЕНИНГРАД

RLST

Депозитарий

О С Л



0000000502766

/ К Е

ТЕОРИЯ ЗВУКОВ И ПРИМЕНЕНИЕ К МУЗЫКЕ

Основы ч. 1. Физической и музыкальной акустики

Стр. 238.

Ц. 2 р. 50 к.

★

Г. ДЕККЕР

БИОЛОГИЯ ОРГАНОВ ЧУВСТВ

1. ОСЯЗАНИЕ И СЛУХ

Перевод с 26-го немецк. изд. д-ра С. И. Ершова.

Под ред. и с примеч. проф. М. Н. Шатерникова.

Стр. 107.

Ц. 70 к.

★

А. С. ИРИСОВ

З В У К И М У З Ы К А

Стр. 140.

Под ред. А. Бачинского.

Ц. 80 к.

★

А. НЕМИРОВСКИЙ

А К У С Т И К А

физиологическая, физическая и музыкальная.

Стр. 216.

Ц. 1 р.

★

Дж. ТИНДАЛЬ

З В У К

Перевод с англ. М. Я. Антоновича.

Изд. 3-е, вновь пересмотр. с примеч. С. Т. Конобеевского.

Стр. 319.

Ц. 1 р.

ОПТОВЫЕ ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯТЬ  
В ТОРГОВЫЙ СЕКТОР ГОСИЗДАТА РСФСР:Москва, Ильинка, Богоявленский пер., 4, тел. 1-91-49, 3-71-37 и 5-04-56,  
Ленинград, „Дом Книги“, проспект 25 Октября, 28, тел. 5-34-18,  
и во все отделения и магазины Госиздата РСФСРМОСКВА, 9, ГОСИЗДАТ, „КНИГА ПОЧТОЙ“ и  
ЛЕНИНГРАД, ГОСИЗДАТ, „КНИГА ПОЧТОЙ“высылают немедленно по получении заказа КНИГИ ВСЕХ ИЗДАТЕЛЬСТВ,  
имеющиеся на книжном рынке.Книги высылаются почтовыми посылками или бандеролью наложенным пла-  
тежом. При высылке денег вперед (до 1 рубля можно почтовыми марками)  
пересылка бесплатно. Исполнение заказов быстрое и аккуратное.

Каталоги, проспекты и бюллетени высылаются по требованию бесплатно.