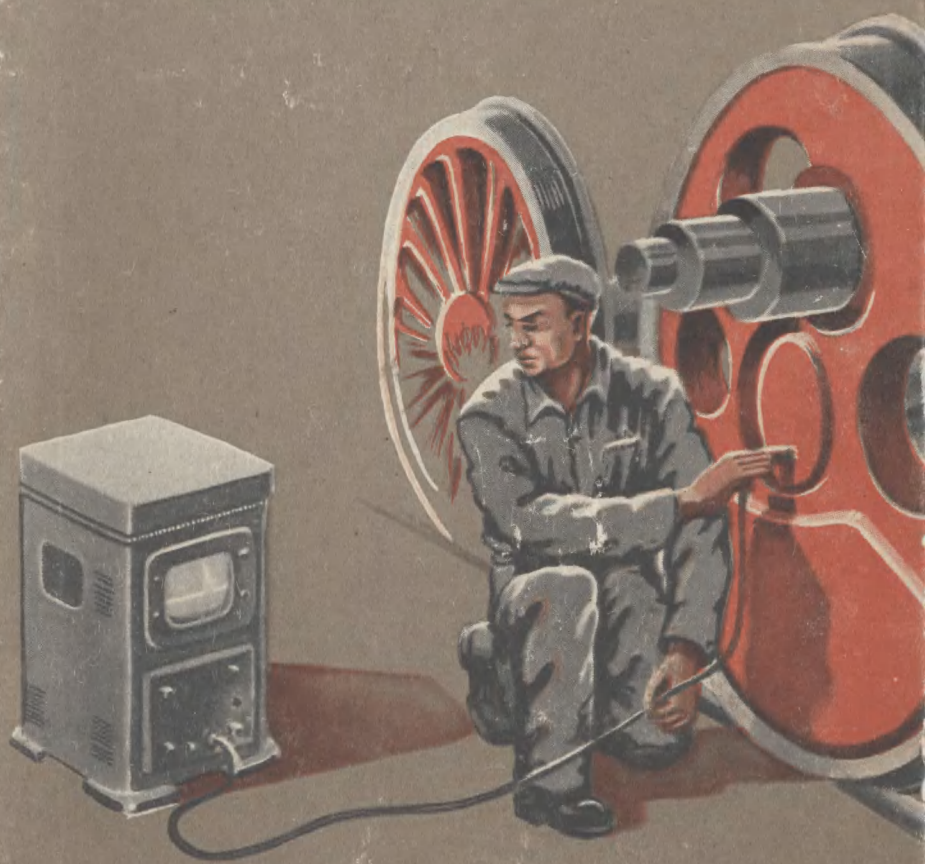


Коробко-Стефанов

# З В У К ЗА РАБОТОЙ

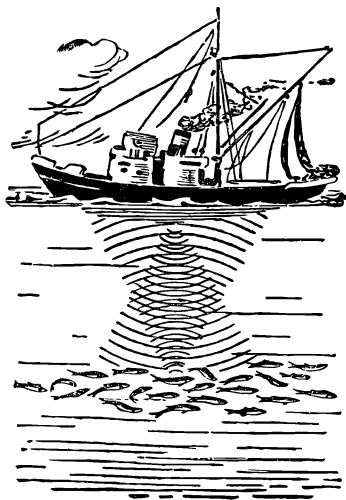


Детиз - 1957

ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

А. КОРОБКО-СТЕФАНОВ

ЗВУК  
за  
РАБОТОЙ



*Государственное Издательство Детской Литературы  
Министерства Просвещения РСФСР  
Москва 1957*

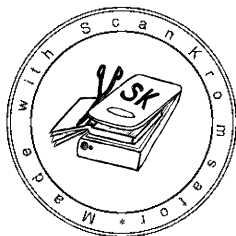


*Нас все время окружают тысячи разных звуков — от гудков паровоза до чуть слышного шелеста травы, от мощных аккордов оркестра до стрекотания кузнечика. Всевозможные звуки всегда с нами, они сопутствуют всей нашей жизни, и представить себе полную тишину просто невозможно.*

*Мы хотим рассказать, как приоткрыли завесу в этот таинственный мир, поговорить о том, что же такое звук, как он появляется, распространяется, как ловко научились люди с ним управляться.*

*Мы расскажем и о голосе моря, и о поющих рыбах, и о том, как Паганини играл на одной струне, а великий Ньютон размышлял о природе звука. Мы расскажем о тех, кто заранее чувствует приближение шторма, и о способе приготовления майонеза.*

*Это книга о звуке.*



Scan AAW



## ЗАГАДКА АТМОСФЕРЫ

### Упрямый колодец

Много лет тому назад на одной из улиц итальянского города Флоренции, заняв всю проезжую часть, строители рыли колодец.

Внимание всех жителей Флоренции было приковано к строительству. По городу было объявлено, что по завершении работ состоится торжественное открытие, к которому тщательно подготавливались жители улиц, лежащих вблизи нового колодца.

Больше всех радовался новому колодцу маленький Доменико, по кличке Лохматый. Это прозвище ему дали мальчишки. Его волосы были вечно растрепаны. Да и как им не быть растрепанными. Хозяин лавки, у которого он работал, — жилистый старик старьевщик, высохшая шея которого, казалось, вот-вот оборвется, когда он вскидывал голову и тряс бородой, — по любому поводу таскал Доменико за вихры. Может быть, поэтому Доменико не удавалось даже в праздники причесать голову так гладко, как это делали другие ежедневно.



А радовался он потому, что колодец строили на его улице, против лавки старьевщика. «Как близко будет ходить по воду!» — мечтал Доменико, прислонившись к тяжелой двери у входа в лавку. А воды для стирки всякого хлама старьевщику требовалось очень много.

Чего только не приносили в лавку в течение дня! Поношенные куртки бедняков, которым не на что купить хлеба, костюмы бродячих артистов, издержавшихся в утомительных переходах из города в город, и вообще тряпье, которое годилось только для заплаток.

Купленный старьевщиком хлам стирала пятнадцатилетняя Лючия — сестра Доменико. Стирка продолжалась с утра до вечера. Стирала Лючия тщательно, перетирая в руках каждую тряпку. А после стирки несколько раз полоскала. Колодец, из которого Доменико носил воду, находился на самом конце улицы. Но нередко приходилось идти на соседнюю улицу, так как насос часто портился.

«Когда же окончатся работы?..» — вздохнул Доменико и посмотрел на строителей колодца.

В это время из лавки донесся знакомый голос: «Доменико, неси воды!» Загремели ведра, и сутулая фигурка мальчика поплелась вдоль улицы к колодцу.

Строители колодца полагали встретить воду на глубине 10—15 метров. Такая глубина колодца не могла кого-либо удивить. Флорентийцы сооружали более глубокие ямы, которыми опоясывали родной город, защищая его от непрошенных гостей. Что же могло служить поводом для торжественного открытия колодца? Ведь глубина его была пустяковой — около 15 метров. Причиной торжества мог быть только насос. До этого времени еще никто не поднимал воду с такой глубины при помощи насоса.

Насос был известен еще с глубокой древности, с незапамятных времен. Ученые объясняли его всасывающее действие тем, что «природа боится пустоты». В учении о

закономерностях природы, созданном великим мыслителем древней Греции Аристотелем, это утверждение занимает основное положение.

Долгое время никому не приходило в голову сомневаться в правильности этого утверждения. Повседневные опыты, казалось бы, не противоречат ему. Если, например, в сосуд налить воду, то воздух, который там находился, уступит место воде. Но стоит опустить в воду камень, как он сразу же займет место воды. А когда высасывают ртом воздух из трубки, его место занимает вода.

В практике строительства насосов, при помощи которых поднимали воду из колодцев, не было случая, чтобы природа отступила от этого правила.

Все они исправно работали!

Возвратимся теперь на улицу Флоренции, где насос уже установили в глубокую яму, на дне которой скопилась прозрачная, хорошо освежающая в жаркие дни вода.

Толпа горожан кольцом окружила колодец, ожидая появления воды. Впереди всех был, конечно, Доменико с сестрой. Вдали от толпы стояла группа мужчин, и среди них находился Эванджелиста Торричелли — ученик великого итальянского ученого Галилео Галилея.

Торричелли родился 15 октября 1608 года в итальянском городе Фаонце. Первым учителем Торричелли, который познакомил его с математикой, был Каstellи, друг Галилео Галилея. Завершив образование, Торричелли выполнил целый ряд исследований по истечению жидкости из сосуда; руководил его исследованиями Галилей. Однако научное общение ученика с учителем было вскоре прервано из-за гонений, которым подвергся Галилей со стороны инквизиторов папской церкви. Последним местом заключения Галилея было селение близ Флоренции, куда в 1641 году,



в октябре, было дозволено прибыть его любимому ученику. Вскоре после приезда Торричелли, в январе 1642 года, Галилео Галилей умер.

После смерти Галилея Эванджелиста Торричелли получил место придворного математика во Флоренции.

И вот он стоит и внимательно смотрит, как, обливаясь потом, качают насос строители колодца.

Нам не придется описывать торжественную церемонию — открытие колодца не состоялось.

Вода поднялась немного, но потом, словно взбунтовавшись, отказалась следовать за поршнем.

Присутствующих охватил трепет. Это противоречило учению великого Аристотеля, которое так свято поддерживала церковь. Поэтому все обвинения посыпались на голову механиков. Насос подвергли тщательному осмотру, но придаться к его изготовлению не удалось.

Флорентийский колодец явно обладал какой-то странностью. Ведь в десятках колодцев точно такими же, даже худшими, насосами поднимали воду. Изумленные флорентийцы расходились. Но Доменико, которому было некуда идти, опустил на порог лавки, обхватил голову руками и горько плакал.



*Эванджелиста  
Торричелли.*

## Атмосферное давление

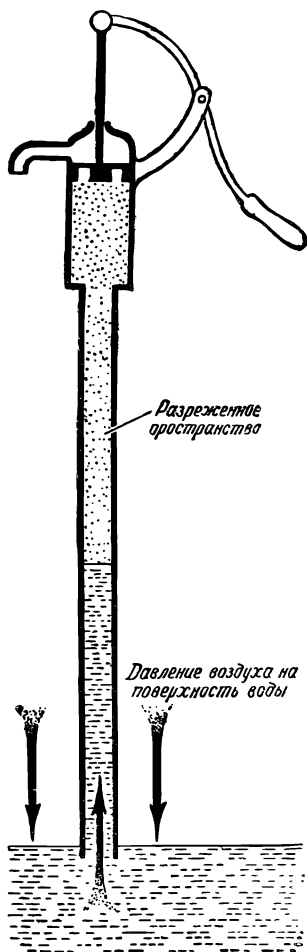
Загадка колодца взволновала Торричелли. Возвращаясь с несостоявшегося торжества, он думал о происшедшем. Многие пришлось ему перебрать в памяти. И все-таки ученику Галилея удалось разгадать тайну флорентийского колодца. Торричелли рассуждал таким образом: «Собственно, что произошло? Колодец был глубок, узкая, длинная труба насоса была значительно больше 10 метров, а вода поднималась за поршнем только на высоту 10 метров с небольшим и не желала следовать



выше этого уровня. Она отрывалась от поршня».

Перебирая в памяти различные опыты, Торричелли вспомнил опыты Галилея, которые он производил с различными жидкостями, поднимая их поршнем в трубках. И у него жидкости, следуя за поршнем, всегда поднимались на различную, но вполне определенную высоту, а затем отрывались от него. Галилей объяснил это явление, полагая, что столб жидкости разрывается от собственной тяжести, как оборвался бы очень длинный, тяжелый канат, если его поднимать за один конец вверх. И он установил, что высота подъема жидкости зависит от веса единицы ее объема — от удельного веса. Чем меньше удельный вес жидкости, тем выше она поднимается за поршнем, но обязательно на определенной, всегда одной и той же высоте от него оторвется.

Размышляя об опытах Галилео Галилея, Торричелли пришел к заключению, что столб жидкости перестает следовать вверх за поршнем и отрывается от него не потому, что он достиг некоторого определенного веса. Если бы это было так, то в тонкой трубе можно было бы поднять жидкость выше, чем в широкой, чего, однако, не наблюдалось. Видимо, полагал Торричелли, столб жидкости перестает следовать вверх за поршнем и отрывается от него тогда, когда давление этого столба не уравновешивается давлением жидкости снизу. Но откуда возьмется давление жидкости снизу трубки? Если оно существует,



Так устроен колодец.



то это может происходить лишь потому, что жидкость передает давление воздуха, находящегося над ее поверхностью. Ведь воздух, как доказал Галилео Галилей, обладает тяжестью — имеет вес. Он даже определил, что воздух в четыреста раз легче воды.

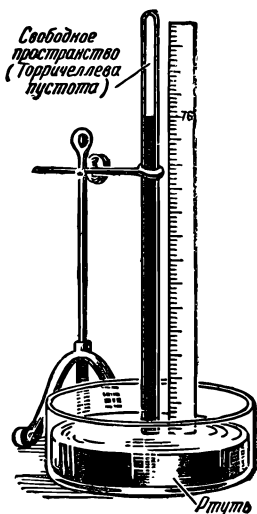
Воздух, заключил Торричелли, давит на поверхность воды, благодаря чему она и может подниматься вверх по трубе вслед за поршнем, который создает разреженное пространство над поверхностью жидкости.

Вода следует за поршнем при его подъеме только до тех пор, пока давление столба воды не уравнивает давление воздуха. После этого между столбом воды и поршнем, если его продолжать поднимать, остается пустота. И эту пустоту вода не может заполнить: ведь наступило равенство давления воздуха и поднявшегося столба воды.

Вот, оказывается, в чем заключалась странность флорентийского колодца. И Торричелли задумал опыт, который должен был доказать, что он прав.

Этот опыт спустя три года после неудачи с колодцем осуществил Вивiani — друг Торричелли. Длинная стеклянная трубка, запаянная с одной стороны, была наполнена ртутью и поставлена вертикально в сосуд с ртутью открытым концом. Для того чтобы предотвратить вытекание ртути из трубки при ее опрокидывании, открытый конец закрывался пальцем и открывался после погружения в ртуть, находящуюся в сосуде.

Столб ртути в трубке установился выше уровня ртути в сосуде на высоте 76 сантиметров. А так как длина трубки превышала 76 сантиметров, то внутри нее от поверхности ртути до запаянного конца образовывалось свободное пространство, которое называли пустотой Торричелли. Значит, Торричелли был прав: ртуть в трубке уравнивалась давлением воздуха.



Опыт Вивiani.

Так было открыто атмосферное давление. А трубка Торричелли стала первым измерителем давления воздуха — барометром.

Всякий раз, когда ртуть в трубке понижалась, наступали дожди, а при очень сильном понижении — буря. Это происходило потому, что переменам погоды предшествует изменение давления воздуха.

Слава о Торричелли распространилась за пределы Флоренции.

Французский ученый — математик, физик и философ Блез Паскаль устроил в городе Руане небывалый по своим размерам барометр. Вместо ртути трубка была наполнена водой. Небывалый барометр привлекал внимание горожан, вызывая изумление своими гигантскими размерами. Кроме того, всех удивляла вода, которая не выливалась из трубки без всяких видимых причин.

Блез Паскаль родился во Франции 19 июня 1623 года в городе Клермон-Ферране, а в 1631 году его увезли в Париж.

В дом к отцу приходили его друзья — физики и математики того времени. Среди них были Роберваль и Мерсенн, с которыми маленький общительный Паскаль быстро подружился. Общение повлекло за собой увлечение математикой. Отец, наблюдая пристрастие, с которым занимается сын, опасался, что он бросит изучение других предметов. Все старания отца отвлечь внимание мальчика от математики были напрасны. Когда отец отобрал у него книги по математике, маленький Блез сам стал изобретать геометрию. Заметив это, отец перестал запрещать ему заниматься любимой наукой, тем более что это совсем не мешало изучению языков и истории.

Шестнадцати лет Паскаль написал сочинение о конических сечениях, в котором разобрал свойства круга и более сложных кривых — эллипса, параболы и гиперболы. В 1647 году в Париже вышла книга Торричелли, из которой Паскаль узнал о давлении воздуха.



*Блез Паскаль.*

Размышляя о сущности атмосферного давления, Паскаль пришел к мысли, что высота подъема ртути в барометре должна уменьшиться на вершине горы, так как часть воздуха лежит ниже вершины и, естественно, не давит на поверхность ртути. Не имея возможности лично проверить эти предположения, Паскаль просит в письме своего родственника, который жил близ горы Пюи-де-Дом, повторить на вершине горы, возвышавшейся над уровнем моря более чем на 1000 метров, барометрический опыт Торричелли.

И вот Паскаль получил письмо, из которого узнал о результатах опыта. Высота столба ртути на вершине горы действительно оказалась меньше, чем у подошвы. Читая полученное об этом известие, молодой ученый заметил: «Не скрываю, что это доставило мне удовольствие». Не удовлетворяясь этими наблюдениями, Паскаль решил выяснить, возможно ли обнаружить различие в давлении на малых высотах.

С этой целью он поднялся на колокольню собора и повторил опыт Торричелли сам. Давление воздуха даже на высоте колокольни было меньше, чем на земле.

Память об этом опыте застыла в бронзе навеки. На колокольне благодарными потомками поставлена статуя Блез Паскаля.

Очень много сделал Блез Паскаль для развития новой науки — физики.

Особенно заинтересовали его жидкости и газы. Он изучал давление в этих подвижных средах и открыл закон, носящий его имя, — закон Паскаля: «Жидкости и газы передают давление во все стороны одинаково».

При этом, однако, оставалось неясным одно — каким же образом способен передавать давление воздух. Жидкости почти несжимаемы. Поэтому они и передают давление. Но воздух, он так податлив, что трудно представить себе, что он обладает такими же свойствами. Для того чтобы воздух мог передавать давление во все стороны одинаково, он должен обладать упругостью.

Изучением упругости воздуха занимался известный английский физик и химик Роберт Бойль. Он опирался на открытия Торричелли и Паскаля.

Изучая упругость воздуха, Бойль видоизменил опыт Торричелли. Он взял трубку, согнутую в виде крючка. Заполнив ее ртутью, запаял короткий конец, в котором

остался воздух. Воздух в колене над ртутью заменил собой атмосферу, так как в длинном колене ртуть не понизилась. И этот малый объем воздуха продолжал давить так же, как давит весь столб земной атмосферы. Так Бойль доказал, что уменьшение объема газа влечет увеличение его давления: «Произведение давления газа на его объем при неизменной температуре есть величина постоянная».



*Роберт Бойль.*

Знакомые Бойля шутя рассказывали друг другу, как произошло открытие этого закона.

Однажды Роберт Бойль отправился на прогулку, а своего ученика Рихарда Тоунли усадил в лаборатории производить измерения зависимости объема газа и давления.

Результаты измерений Бойль приказал тщательно записывать.

Производя измерения, Тоунли заметил, что произведение давления на объем остается постоянным...

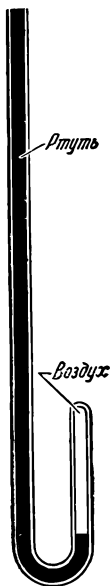
Чтобы избавить себя от дальнейшей утомительной работы и самому вслед за Бойлем отправиться гулять, он оставшееся место в таблице заполнил цифрами, произведение которых давало одну и ту же величину.

На другой день, когда об этом узнал Бойль, он сформулировал соответствующий закон.

Но это, конечно, только шутка, которую до наших дней пересказывают «злые языки». Основанием этой шутки, видимо, и послужило высказывание самого Бойля, который говорил, что не сразу сам уловил этот закон, а помог ему его ученик Рихард Тоунли.

В наше время эту зависимость называют законом Бойля-Мариотта, так как они открыли ее независимо друг от друга.

В те далекие от нас времена ученые узнава-



*Опыт Бойля.*

ли об открытиях, либо пересказывая их друг другу, либо сообщая письмом. Но почта пересылала письма медленно и не всегда аккуратно. Письма из Англии, где жил Бойль, шли не так скоро, как сейчас, и французский физик аббат Мариотт долгое время ничего не знал об открытии Бойля. Исследуя упругость воздуха, он пришел к тому же результату, что и Бойль, но несколько лет спустя.

Желая проверить эту закономерность и убедиться, что давление воздуха с течением времени не ослабевает, французский ученый Роберваль зарядил духовое ружье, а выстрел произвел спустя шестнадцать лет! Действие ружья было такое же, как если бы оно было только что заряжено.

### Странный бургомистр

Более десяти лет спустя после событий на улице Флоренции, ранним утром 1654 года, в Германии, в окрестностях Регенсбурга, бургомистр города Магдебурга Отто Герике показал грандиозные опыты. Две упряжки лошадей, по восемь пар каждая, растягивали шар в противоположные стороны, стараясь его разорвать. Этот интереснейший опыт, на котором многие пожелали присутствовать, изображен на гравюре. Ее часто помещают на страницах учебников.

Подготавливая свои опыты, Отто Герике ничего не знал об опытах Торричелли. Герике хотел получить пустоту. Для этой цели он взял пустую винную бочку, наполнил ее водой и при помощи насоса стал выкачивать из нее воду. Когда воду выкачали, то сквозь щели внутрь бочки с шипением проник воздух и занял ее место. Эта неудача не остановила Герике. Он поместил бочку с водой в другую бочку, тоже наполненную водой, и снова повторил опыт. Результат был тот же: воздух опять проник внутрь бочки, хотя и не так быстро, как в первый раз, и занял место воды. Внутри бочки проникал воздух, содержащийся в воде. Тогда упорный Герике взял медный сосуд из двух полушарий и стал откачивать воздух из него. Едва внутри сосуда наступило разрежение, как тонкие стенки полушарий были смяты.

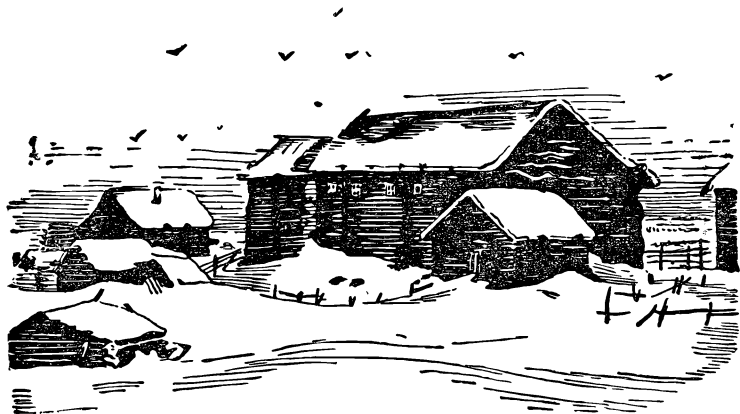
Пришлось изготовить более прочные полушария, и тогда дело пошло на лад. Воздух был откачан! Два ничем не скрепленных полушария не могли оторвать друг от

друга даже две упряжки по восьми пар лошадей. Необыкновенное зрелище! Толпа горожан и жителей окрестных сел с изумлением смотрели, как лошади пытаются разорвать пустоту. После этого Герике предложил двадцати взрослым мужчинам сместить поршень в цилиндре, из которого предварительно был выкачан воздух. Сколько ни трудились взрослые, сильные люди, поршень оставался на месте.

Если бы Герике знал об опытах Торричелли, об атмосферном давлении, то он мог бы легко объяснить эти опыты. Но, к сожалению, он этого не знал. А ведь объяснение было таким легким. Лошади не могли разъединить полушария, потому что они прижимались друг к другу силой внешнего давления атмосферы. Ведь внутри полушарий воздуха не было совсем.

Опыты Герике особенно наглядно показали, что воздух давит со всех сторон. Это и значит, что он обладает упругостью, благодаря которой атмосферное давление передается во все стороны одинаково.





*В этой деревне родился Ломоносов.*

Какова же, однако, причина упругости воздуха? Объяснил это явление гениальный русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов.

Родился Ломоносов в ноябре 1711 года в семье крестьянина-помора Василия Ломоносова, в маленькой русской деревне Денисовке, которая расположена в устье Северной Двины, близ города Холмогоры.

Рано приобщился сын помора к тяжелому и опасному труду — ловле рыбы в студеное море. Мальчик проявлял усердие в труде и необыкновенную любознательность. Едва постигнув грамоту, он сразу же пристрастился к книгам. Книги пробудили в нем стремление к знанию; к ним он тянулся, как к свету. Когда ему исполнилось девятнадцать лет, он навсегда покинул родные Холмогоры и отправился учиться в Москву. Ни запрет родителей, ни стужа, ни далекий путь не могли его остановить. С тех пор его жизнь неразрывно связана с наукой. Он изучал и физику, и математику, и химию, и геологию, и литературу. И в каждой из этих наук он сделал столько, сколько сделал бы большой ученый, посвятивший себя изучению только этой отрасли знаний.

В одном из своих сочинений Ломоносов выяснил причину упругости воздуха. Сочинение Михаила Васильевича Ломоносова «Попытка упругой силы воздуха» было написано в 1740 году. К этому времени благодаря трудам нескольких поколений утвердилось представление

что воздух неоднороден и представляет собой совокупность многих газов.

Выделение газов наблюдали в пещерах, шахтах и болотах. Так, например, было известно, что в некоторых местах птицы задыхаются, ибо попадают, как полагали раньше, в места испорченного воздуха, и что есть испарения земли, которые смертельны для человека.

Голландский химик Ван-Хельмхольт впервые предложил само слово «газ». Он выдумал это слово, видимо производя его от известного слова «хаос».

А итог многовековым исследованиям состава оболочки земли — воздуха — подведен в трудах известного французского химика Антуана Лорана Лавуазье. Им же были даны современные названия известных в то время газов.

Вернемся теперь к исследованиям Михаила Васильевича Ломоносова, который вскрыл то, что ускользнуло от взора его предшественников, — причину упругости воздуха.

Он исходил из того, что воздух представляет собою смесь различных газов. А газ — скопление большого числа частичек вещества, атомов. Каждый газ в отдельности и их смесь обладают упругостью, потому что атомы не покоятся, а находятся в движении. Поясняя свою мысль, Ломоносов писал:

«Свойства упругости проявляют не единичные частички, не имеющие какой-либо физической сложности и организованного строения, но производит совокупность их».

При этом, продолжая рассуждения, Ломоносов усматривал, что сила упругости обусловлена взаимным действием частиц между собою:

«Так как эта сила при прочих равных условиях увеличивается и уменьшается в отношении плотности собственной материи воздуха, то нет сомнения, что она происходит от какого-то непосредственного взаимодействия атомов».

Но как это происходит? Каким образом представлял М. В. Ломоносов взаимодействие частиц воздуха между собою и их поведение? Размышляя над этим, М. В. Ломоносов не упускал из виду то, что воздух можно сжимать до  $\frac{1}{30}$  его первоначального объема, а это означало, что между частицами существует значительное расстояние и, следовательно, они действуют друг на друга только то-





*Михаил Васильевич Ломоносов.*

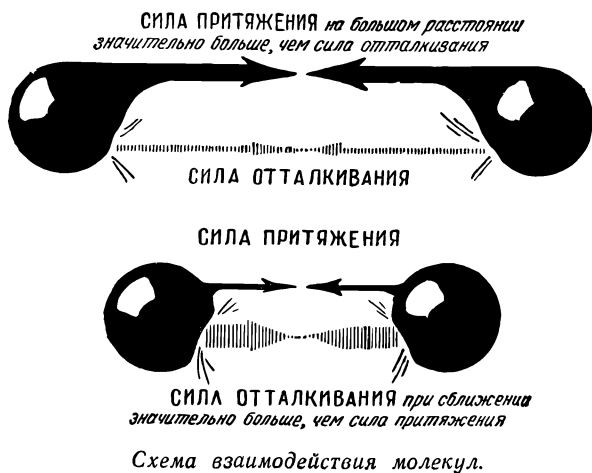
гда, когда сталкиваются. Но столкновения, полагал Ломоносов, длятся весьма недолго. Об этом он пишет так:

«Очевидно, что отдельные атомы воздуха, взаимно приблизившись, сталкиваются с ближайшими в нечувствительные моменты времени, и, когда они находятся в соприкосновении, вторые атомы друг от друга отпрыгнули, ударились в более близкие к ним и снова отскочили; таким образом, непрерывно отталкиваемые друг от друга частыми взаимными толчками, они стремятся рассеяться во все стороны».

Ценность высказанных М. В. Ломоносовым мыслей сохраняется вплоть до наших дней. М. В. Ломоносов теоретически объяснил поведение газа в опытах Бойля и Паскаля, исходя из высказанных им положений. Кроме этого, он указал, что обнаруженные ими закономерности в поведении газов не всегда могут выполняться.

Теперь мы можем уяснить себе общее поведение атмосферы. Воздух — смесь газов. Мельчайшие частички газов, никогда не зная покоя, находятся в движении. Двигаются они в различные стороны. Благодаря этому состав атмосферы на различных высотах примерно одинаков. Эти частички — молекулы — не улетают от земли только потому, что она их притягивает. Если бы не это обстоятельство, то стремление воздуха занять как можно больший объем рассеяло бы атмосферу. Почему же тогда молекулы не упадут на землю подобно песку? Препятствует этому взаимодействие молекул. Когда две молекулы находятся на большом расстоянии и движутся навстречу, они притягивают друг друга и отталкивают. Но сила притяжения между молекулами на большом расстоянии значительно больше, чем сила отталкивания. По мере их сближения она уменьшается, а сила отталкивания, наоборот, возрастает. Когда расстояние становится совсем малым, сила отталкивания увеличивается настолько, что начинает превышать притяжение. И тогда под действием силы отталкивания молекулы снова разлетаются в разные стороны. Таким образом, силы взаимного действия молекул не позволяют молекулам сближаться очень близко, и это порождает упругость газа.

Атмосфера — газообразная оболочка Земли, которая предохраняет ее от охлаждения, так как воздух плохо



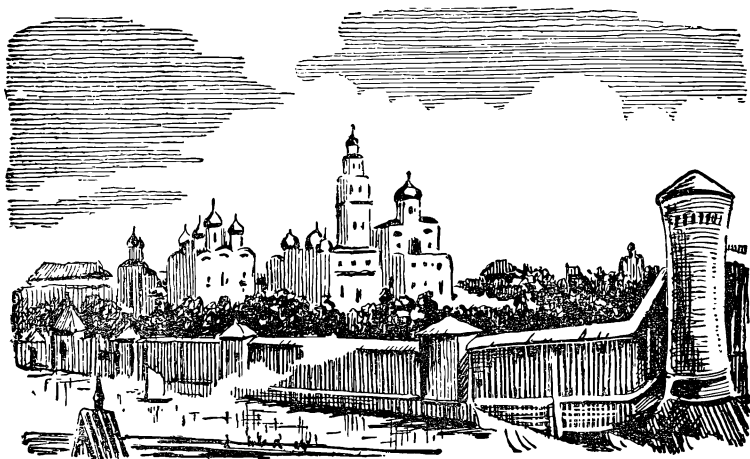
проводит тепло. Поэтому атмосферу можно образно называть шубой Земли. Атмосфера существует и над другими планетами солнечной системы, например над Венерой; кстати, атмосферу этой планеты открыл М. В. Ломоносов. Воздух, окружающий земной шар, более всего содержит азота — 78,08%. Кислород составляет только 20,95%. Еще меньше аргона — 0,93%. Углекислого газа — около 0,03%. Гелия и других газов — ничтожно малое количество.

Воздушная оболочка простирается высоко над Землей. Часть ее, прилегающая непосредственно к поверхности земли до высоты 11 километров, называют тропосферой. В тропосфере находятся облака, которые дают осадки — дожди, снег и град. В тропосфере, как и в более высоких слоях, преобладают азот и кислород. За тропосферой, вплоть до 75 километров, находится стратосфера. Хотя в нижних слоях стратосферы больше водорода, а в верхних — гелия, но в общем состав воздуха примерно такой же, как и в тропосфере. В стратосферу поднимались советские аэронавты, достигнув высоты 22 километров.

В настоящее время для изучения атмосферы на большую высоту запускают воздушные шары, так называемые аэростаты, с автоматическими приборами.

А запуск искусственных спутников Земли позволил осуществить непосредственные замеры и наблюдения в верхних слоях атмосферы.





## КАК ЗВУЧАЛ БЫ ЦАРЬ-КОЛОКОЛ

### Обыкновенный маятник

Мир звуков на Земле существует лишь благодаря атмосфере. В то же время Земля совершает свое движение в безмолвном океане Вселенной.

Шум ветра и дождя, грохот грома и бушующих вод, шелест листьев и звонкое журчанье ручьев — звуки стихии. Они существовали на Земле и безраздельно царили в течение долгого времени, прежде чем появились живые существа. Появление человека не только расширило мир звуков природы, но украсило его речью, пением и музыкой.

Человек заставил тела звучать по своему усмотрению. Хорошо высушенные и натянутые шкуры стали барабанами, а жилы животных — струнами музыкальных инструментов.

Ни один оркестр не обходится без барабана, который является для него своеобразными часами. Звуки бараба-



на раздаются через равные промежутки времени, удерживая музыкантов от излишне торопливого звучания инструментов оркестра.

Трубчатые стебли растений и просверленные рога животных тоже звучат, если через них продуть воздух. По всей вероятности, так были устроены первые духовые инструменты. Охотничьи рожки и свистки сохранились до сих пор, и звуки их по-

прежнему собирают собак, увлекшихся преследованием зверя на охоте.

Звучание натянутых шкур и жил происходит тогда, когда их заставляют вздрагивать — совершать колебания. В окружающей среде при этом возникают упругие волны.

Давно замечено, что звучащие тела совершают колебания, но не все колеблющиеся тела издают звук.

Звук, в отличие от света, не распространяется в пространстве, лишенном воздуха.

При каких же условиях возникает звук и какая связь между колеблющимся телом и окружающим его воздухом?

Прежде всего нужно выяснить, как происходят колебания тел и какие законы ими управляют. Это удобно сделать на примере колебаний маленького тела, подвешенного на нитке, так называемого маятника, который только совершает колебания, — никаких звуков он не издает.

Когда маятник висит спокойно, он находится в положении равновесия. Это равновесие является устойчивым, потому что стоит только маятник чуть-чуть отклонить, как сила тяжести возвращает его в прежнее положение. Но он при этом успокаивается не сразу. Долгое время движется тело, подвешенное на нитке, в одну и другую сторону от своего положения равновесия. При этом, как заметил впервые Галилео Галилей, время одного полного колебания, когда маятник с одной стороны от положения равновесия перейдет на другую, а затем вновь вернется

туда, откуда он начал движение, оказывается почти одинаковым и очень медленно убывает.

Промежуток времени, в течение которого совершается одно полное колебание, называется периодом. Когда была установлена единица времени — секунда, то величину периода стало возможным выражать числом секунд или ее долей. Число полных колебаний, которые совершает маятник в секунду, называют частотой колебаний. Если период колебаний составляет долю секунды, например две десятых, то в одну секунду маятник совершит пять полных колебаний — частота колебаний равна пяти. Если же в одну секунду совершается только одно полное колебание, то есть период равен одной секунде, то частота колебаний равна единице. Эту единицу называют «герц», в память о физике Генрихе Герце.

При своем движении около положения равновесия маятник отклоняется то в одну, то в другую сторону. Удалившись на наибольшее расстояние, он на мгновение останавливается, а после этой остановки начинает двигаться в обратном направлении, к положению равновесия, и, проходя его, отклоняется на такое же расстояние в другую сторону.

Это расстояние называют амплитудой колебания.

Колебания, которые совершает маятник, могут быть свободными и вынужденными. Свободными они называются тогда, если маятник, после того как он выведен из положения равновесия, предоставлен самому себе. При этом период его колебаний устанавливается в зависимости от его длины, а амплитуда — в зависимости от величины первоначального отклонения. Если же колебание маятника происходит при периодическом постороннем воздействии силы, то колебания называют вынужденными.

Период вынужденных колебаний определяется периодом постороннего воздействия.

Но любопытно то, что амплитуда колебаний маятника при этом может быть различной.

От чего же она зависит?

Вынужденные колебания совершаются под действием внешней периодической силы. Частота их определяется частотой ее действия. Теоретические исследования вынужденных колебаний позволяют установить, что амплитуда вынужденных колебаний будет тем больше,

чем больше величина этой силы. Но дело, оказывается, значительно сложнее, чем это может показаться на первый взгляд.

Вот, например, хорошо известные вам качели.

После того как вы удобно уселись на скамейку, привязанную за оба конца веревками, кто-либо из ваших друзей отклоняет качели от положения равновесия.

После этого качели совершают качание около положения равновесия, но каждый раз отклонения будут все меньше и меньше, и в конце концов качели остановятся. Они останавливаются потому, что веревки в месте их подвеса трут о перекладину, тормозя движение. Этому помогает воздух, который вы рассекаете при движении. Такое качание качелей называют свободным, а частоту качаний собственной частотой.

Для того чтобы предотвратить остановку, ваш товарищ должен каждый раз в момент наибольшего отклонения подтолкнуть качели.

Качание качелей в этом случае называют вынужденным, ибо оно происходит под действием внешней силы — мускульного усилия вашего товарища. Если частота толчков будет совпадать с собственной частотой качания качелей, то наступит резкое увеличение амплитуды. Качели при этом могут даже разрушиться — оборваться.

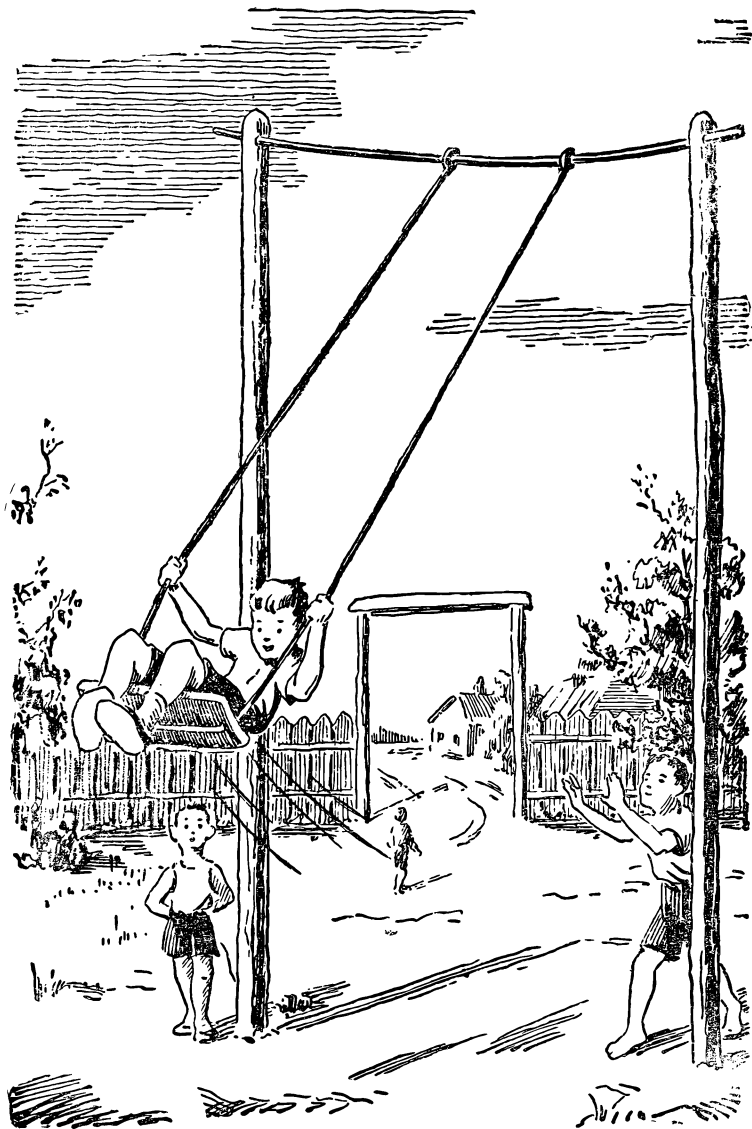
Амплитуда будет тем больше, чем меньше частота вынужденных колебаний отличается от частоты собственных.

Совпадение этих частот называется резонансом.

Иногда это явление приводит к более серьезным последствиям, чем разрушение качелей.

Так, например, если строй солдат проходит через мост в ногу, то он ударяет по нему с определенной частотой, заставляя мост совершать вынужденные колебания.

Однажды частота ударов солдатских сапог случайно совпала с собственной частотой колебаний моста, то есть с частотой колебаний, которые он мог бы совершать, если бы его вывели из положения равновесия и предоставили затем самому себе. Из-за совпадения частот наступило явление резонанса. Мост настолько раскачался, что в конце концов рухнул. Это наблюдалось в разные времена во многих странах — в Испании, Франции и России. После этих происшествий по мосту в строю запрещают ходить в ногу.



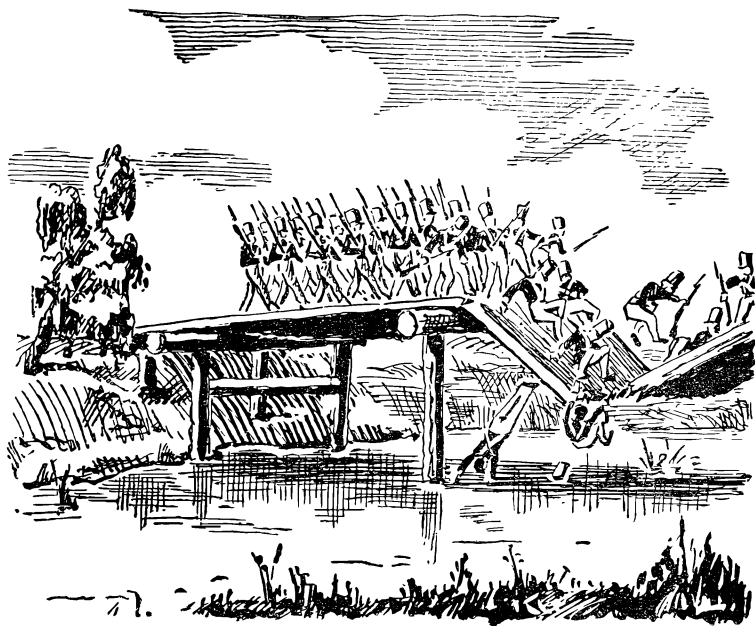
*Качели раскачиваются около положения равновесия.*



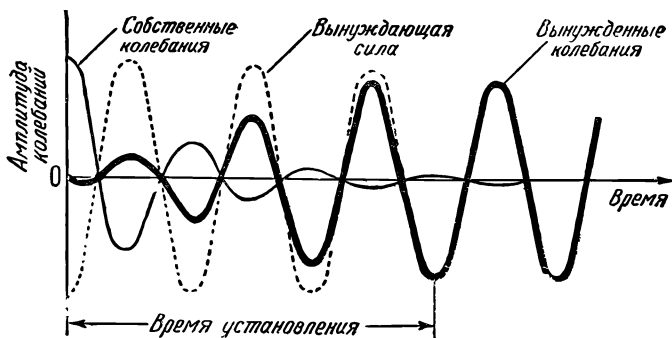
## Звуковые волны

Посмотрим теперь, что же происходит с окружающей средой, в которой какое-либо тело совершает колебание.

Прежде всего следует вспомнить, что воздух состоит из молекул различных газов, которые все время находятся в движении, то сближаясь между собой, то удаляясь друг от друга. Между двумя столкновениями молекула проходит очень маленькое расстояние и после каждого изменяет скорость и направление движения. Благодаря случайным столкновениям молекулы как бы топчутся на одном месте. При этом, когда они почти совсем приблизятся друг к другу, силы взаимодействия отталкивают одну молекулу от другой, но, разлетевшись в разные стороны, они снова притягиваются друг к другу. Это происходит потому, что силы притяжения больше сил отталкивания только на большом расстоянии. Благодаря этим



*Солдаты шли в ногу...*



*Так устанавливаются вынужденные колебания.*

силам притяжения и отталкивания молекулы воздуха все время движутся, а весь воздух в целом обладает упругостью.

Если теперь мы заставим какое-либо тело совершать колебания в воздухе и будем наблюдать, что с ним происходит, то обнаружим, что, когда тело уходит из положения равновесия, оно, с одной стороны, сжимает прилегающий к нему слой воздуха, а с другой стороны, его разрежает. Сжимая воздух, мы увеличиваем его упругость, и, следовательно, увеличивается давление воздуха.

Таким образом, при движении колеблющегося тела давление воздуха становится чуть-чуть больше атмосферного с той стороны, в которую тело движется, и настолько же меньше атмосферного — с другой.

Увеличенное давление воздуха в сжатом слое передается прилегающим к нему слоям одинаково во все стороны. Ибо, как обнаружил Паскаль, давление в жидкостях и газах благодаря их упругости передается во все стороны одинаково.

Это и приводит к тому, что увеличение давления передается в воздухе от слоя к слою, распространяясь во все стороны от того места, где оно впервые появилось.

Причиной, породившей увеличение давления, является колеблющееся тело. Достигнув наибольшего отклонения, тело возвращается к положению равновесия. При этом сжатие воздуха сменяется разрежением. Затем, через промежуток времени, равный периоду колебаний,

вновь наступает сжатие. Чередующееся сжатие и разрежение воздуха передается от слоя к слою, распространяясь во все стороны. И так происходит до тех пор, пока не прекратятся колебания тела.

Таким образом, при колебаниях тела в прилегающем к нему слое воздуха благодаря сжатиям и разрежениям происходят колебания атмосферного давления. Давление, избыточное над атмосферным, называют акустическим. Период колебания величины давления определяется периодом колеблющегося тела.

Распространение состояния сжатия и разрежений в воздухе от слоя к слою называют упругой волной. Различные тела могут совершать колебания с различными частотами, порождая в воздухе упругие волны различных частот.

Расстояние между двумя близкими слоями воздуха, где одновременно наступает сжатие или разрежение воздуха, называют длиной волны.

Длина звуковой волны зависит от скорости распространения звука. А скорость звука определяется только физическими свойствами среды.

Если упругая волна достигает нашего уха, то колебание величины атмосферного давления прилегающего к уху воздуха может быть им воспринято. Но это возможно только в том случае, когда частота колебаний этих изменений не меньше 16 герц и не больше 16 тысяч герц. Упругие волны, частота которых находится в этих пределах, называют звуками. Их еще можно подразделить на два вида: музыкальные звуки и шумы.

Звук называют музыкальным, если изменение величины атмосферного давления, которое воспринимает ухо, повторяется регулярно, через равные промежутки времени. Но он перестает быть музыкальным и становится шумом в тех случаях, когда изменение давления происходит беспорядочно.

## Скорость звука

О том, что воздух может быть плотнее и реже, было известно задолго до Аристотеля. Но Аристотель, видимо, первый правильно объяснил сущность распространения звуков, полагая, что при этом в воздухе происходит пе-



риодическое сжатие и разрежение. Таким образом, природа звука была правильно понята очень давно. Но как протекает процесс сжатия и разрежения, вследствие чего увеличивается и уменьшается атмосферное давление в данном месте, было выяснено сравнительно недавно.

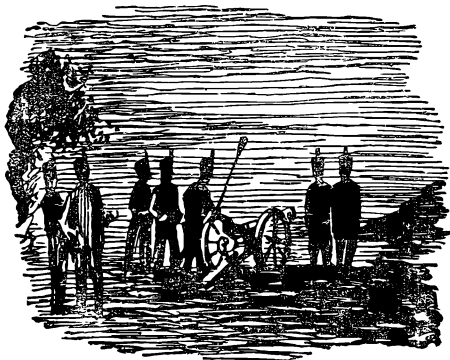
Первые опыты измерения скорости распространения звука в воздухе произвел в 1630 году французский физик Марен Мерсенн по совету одного из крупнейших философов того времени — Френсиса Бекона. Измерив расстояние между двумя пунктами, Мерсенн определял время от момента, когда появлялась вспышка при выстреле из мушкета, до того момента, когда слышался звук.

Разделив измеренное расстояние на число секунд от момента появления вспышки до прихода звука, Мерсенн нашел скорость распространения звука в воздухе.

Но эти измерения были не очень точными. Тогда в 1738 году Парижская Академия наук решила предпринять точнейшие измерения скорости распространения звука в воздухе.

Грандиозные приготовления к опытам ученых Парижской Академии наук завершились в марте того же года. Вечером в Париже на Монмартре началась стрельба. Она продолжалась в течение часа. Стреляли попеременно из двух пушек. На возвышенности находились наблюдатели, вооруженные самыми лучшими хронометрами, по которым можно было определять промежутки, составляющие доли секунды.

Наблюдение за вспышкой в момент выстрела производили в подзорную трубу. Руководили измерениями доктор наук Лакайль и Кассини.



Опыты были проведены. Скорость звука подсчитана. Оказалось, что она составляет 337 метров в секунду.

Теперь посмотрим, как же ведут себя молекулы воздуха, в котором распространяется звук.

Вот в воздушном слое наступает сжатие. Расстояние между молекулами уменьшается. Это происходит до тех пор, пока силы отталкивания не окажутся равными силам, сближающим молекулы. В этот момент сжатие прекращается. И если бы равенство внешних сил и сил отталкивания сохранилось, то сохранилось бы среднее значение расстояния между молекулами. Но ведь они все время находятся в тепловом движении. После сжатия снова начинается разрежение, и, следовательно, среднее расстояние между молекулами начинает увеличиваться, так как действуют силы, которые отталкивают молекулы друг от друга. Увеличение расстояния происходит до тех пор, пока не прекратится разрежение. За ним вновь следует сжатие.

Молекулы, таким образом, кроме своего теплового движения, приобретают колебательное движение. Следовательно, к скорости теплового движения молекул прибавляется скорость движения колебательного. Колебательную скорость молекул называют акустической скоростью. Она, естественно, зависит от частоты колебаний и от величины взаимного смещения молекул, которое происходит при сжатии и разрежении.

Колебательное движение молекул воздуха происходит в направлении распространения упругой волны, вдоль волны; поэтому упругую волну в воздухе называют продольной.

## Зачем понадобился рупор

Упругие волны несут с собой энергию, которую отдает источник в окружающую среду.

Впервые это выяснил русский ученый Николай Алексеевич Умов. Как известно из великого закона природы, сформулированного Ломоносовым, энергия не исчезает и не появляется, а переходит из одного вида в другой.

При механических движениях она переходит из кинетической в потенциальную и наоборот. Полная энергия колеблющегося тела, которая складывается из кинетиче-

ской и потенциальной, остается в процессе колебаний постоянной по величине. Это, конечно, только теоретически. На практике все движения сопровождаются трением, и часть энергии расходуется на его преодоление.

При движении ножки камертона в одну сторону происходит сжатие воздуха, вследствие чего давление его увеличивается. Частички воздуха при этом приобретают дополнительную скорость, их кинетическая энергия возрастает.

Кроме этого, при движении частичек одного слоя они уходят от частичек другого слоя, лежащего за ними, и между слоями сжатия образуется разреженное пространство. Потенциальная энергия частичек определяется при этом их взаимным положением относительно друг друга. По мере удаления одного слоя от другого она возрастает.

Таким образом, мы обнаруживаем новое качество при распространении процесса колебаний многих частичек, между которыми имеются силы взаимного действия. Это новое качество состоит в том, что их кинетическая и потенциальная энергия возрастает одновременно.

До каких же пор происходит этот процесс возрастания кинетической и потенциальной энергии частичек?

Энергия растет до тех пор, пока в слое, где происходит сжатие, частички не сблизятся на расстояние, при котором силы отталкивания между ними не окажутся равными силам притяжения к частичкам соседнего слоя.

Кинетическая и потенциальная энергия частичек при этом имеет наибольшее значение. После этого процесс начинается в обратном направлении.

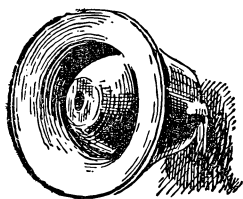
Особенно важно то, что если в данном месте кинетическая и потенциальная энергия частичек одновременно убывает, то в этот же самый момент рядом, в близлежащем слое, по направлению распространения волны, кинетическая и потенциальная энергия частичек возрастает.

Энергия частичек, таким образом, передается по направлению распространения волны от слоя к слою.

Этот процесс перетекания энергии от источника в окружающую его среду периодически повторяется и длится в течение всего времени колебания тела.

Поток энергии и служит мерой интенсивности звука, или, как говорят, мерой «силы» звука.

При этом оказалось, что «сила» звука пропорцио-



*Виды рупоров.*

нальна квадрату звукового давления, то есть квадрату величины избыточного над атмосферным давления, которое образуется вследствие сжатия слоя.

Величина потока энергии от голоса человека очень мала. Представим себе, что одновременно говорят очень много людей, ну, скажем, сто тысяч человек. Все равно потока энергии звуковых волн их голосов, если ее превратить в электрическую, еле-еле хватило бы на то, чтобы зажечь лампочку карманного электрического фонаря.

От источника звук распространяется во все стороны, и величина потока энергии убывает с расстоянием, так как отдаваемая излучателем энергия в каждую секунду проходит через поверхность шара все увеличивающегося радиуса.

Но если поток энергии становится меньше, то уменьшается и «сила» звука. Поэтому звуки на больших расстояниях едва слышны.

Это обстоятельство заставило задуматься над тем, чтобы создать устройства, которые направляли бы поток звуковой энергии не во все стороны, а по возможности узким пучком.

Для этой цели можно использовать ладони наших рук.

Если, например, мы хотим кого-либо окликнуть, то подносим ладони ко рту и кричим. В дальнейшем ладони заменили трубой, которую называют рупором.

Рупор создает направленную звуковую волну, и поток энергии становится более мощным.

Рупор, как описывают историки походов греческого

полководца Александра Македонского, помогал ему командовать войсками во время сражений.

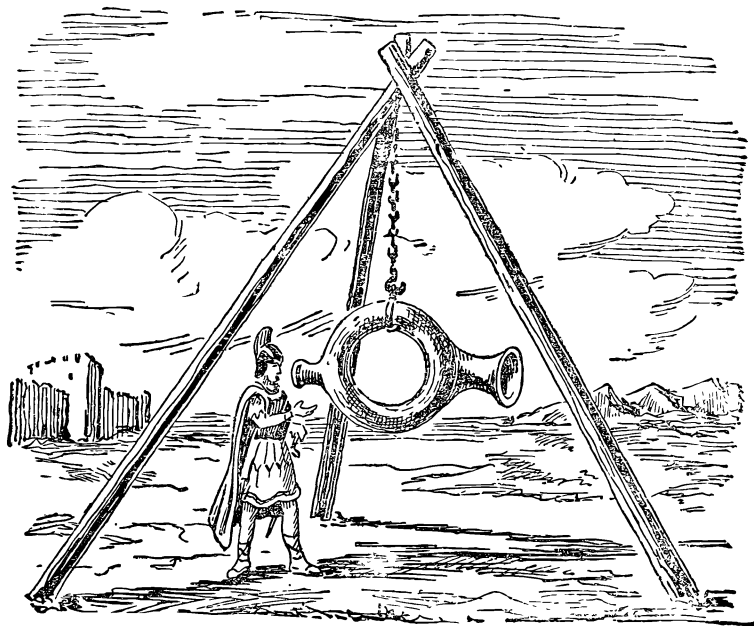
В наше время в радиовещании форма рупоров для громкоговорителей выбирается с таким расчетом, чтобы создавать звук необходимой силы по выбранному заранее направлению.

Точным расчетом при выборе формы занимается техническая акустика, и математическое описание рупора является не такой уж простой задачей.

Теперь попробуем уяснить, какие величины, характеризующие звук, определяют его восприятие, что мы, собственно говоря, слышим.

Понятие тона как характеристики звука ввел Галилео Галилей. Частота звуковых колебаний определяет тон звука. Если она мала — тон звука низкий. По мере увеличения частоты тон повышается.

Если бы звучащие тела создавали колебания только одной частоты, мы не смогли бы различать звучание различных музыкальных инструментов и голоса наших знакомых. Однако мы прекрасно отличаем их друг от друга даже в том случае, когда они издают один тон. Де-





ло в том, что наряду с основным тоном звучащее тело всегда создает более высокие верхние тона, или, как их называют, обертоны. Разное количество обертонов, подобно световым оттенкам основного цвета, окрашивает звук. Звучание основного тона совместно с верхними тонами и создает тембр звука — его окраску. Это и позволяет нам различать музыкальные инструменты и узнавать голоса наших знакомых. Их тембры всегда различны.

Различие тембра обусловлено числом верхних тонов, которые сопровождают звучание основного тона. Чем больше верхних тонов в звуке, тем приятнее его тембр.

Голоса некоторых людей грубые, или, как говорят, имеют «металлический» оттенок, а у других «мягкие», «бархатистые». Чем определяется такая разница?

Она обусловлена числом высоких и низких тонов.

Если высокие тона преобладают над низкими, то говорят, что в голосе слышится «звучание металла».

Если высоких тонов мало, голос становится мягким и вкрадчивым. Кроме того, восприятие голоса зависит и от силы звука, от составляющих его тонов.

Другой характеристикой звука является громкость. Сложность этого понятия состоит в том, что громкость связана с психическим восприятием звука и чувствительностью уха. Ухо неодинаково чувствительно к звукам различных частот.

Колебания одной и той же частоты, распространяясь в воздухе, могут создавать различное избыточное давление. Если оно незначительно, то звук слабый, еле слышный. При значительном избыточном давлении звук громкий. Наше ухо, о котором мы в дальнейшем вам расскажем, — удивительный механизм. Оно способно воспринять даже такое малое изменение давления, как сотая часть миллионной доли грамма на квадратный сантиметр. Но это же ухо способно воспринять изменение давления в сто миллионов раз большее.

Самое незначительное изменение давления, которое воспринимает ухо, называют порогом слышимости. Большие изменения давления, которые еще воспринимаются ухом без боли, определяют порог болевого восприятия. Эти величины различны для слышимых частот колебаний. Так, например, давление на пороге слышимости для малых частот выше, чем для больших. Это значит, что

восприятие еле слышимых звуков малых частот происходит при больших звуковых давлениях.

Опираясь на это, можно уточнить понятие тембра. Дело в том, что при звучании тела звуковое давление низкого тона всегда больше, чем давление высоких тонов, сопровождающих его. Тембр звука определяется не только числом высоких тонов, но и соотношением звуковых давлений между ними. Благодаря этому обстоятельству ухо отличает один тембр от другого, так как оно способно сразу разобраться во всей совокупности тонов сложного звука. Эта особенность уха называется его способностью анализировать звук.

Простые тона являются редкостью и в музыке не употребляются. Даже камертон не всегда дает простой тон. Кроме этого, следует сказать, что очень сильный звук простого тона вызывает ощущение сложного, так как создает верхние тона в самом ухе.

Ну, а теперь мы можем перейти к рассказу о том, как же устроен поистине замечательный механизм, называемый человеческим ухом.

## Как устроено ухо

Слуховой орган — ухо — представляет собой сложное сооружение. То, что в быту называют «ухо» — всего лишь ушная раковина.

Если углубиться внутрь ушной раковины, то обнаружится слуховой проход, закрытый круглой перепонкой, которая называется барабанной. Она похожа на конус, вершина которого втянута внутрь среднего уха. Со стороны среднего уха к середине барабанной перепонки прикреплена косточка в форме молоточка, которая другим концом сочленена с другой косточкой — наковальней. Наковальня соединена с третьей косточкой — стремением; второй конец стремени упирается в перепонку, отделяющую среднее ухо от внутреннего.

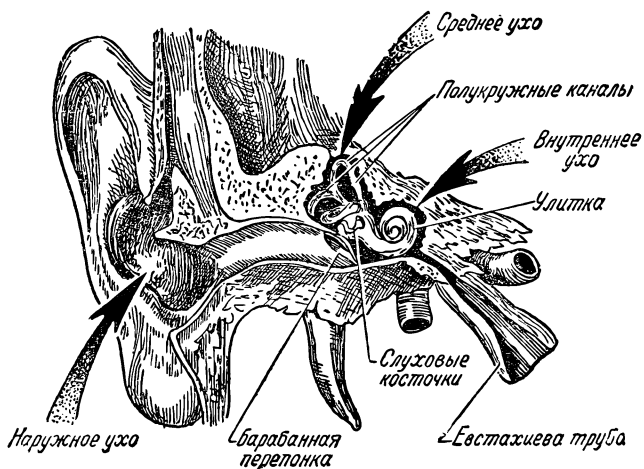
Внутреннее ухо представляет собой сложный лабиринт, заполненный жидкостью. Называют его улиткой. Внутренняя сторона лабиринта устлана эластичной пленкой, в которой располагаются кончики слуховых нервов, сообщающихся с мозгом. Кончики слуховых нервов в одной части соприкасаются с маленькими остреньки-

ми волосками, которые расположены вдоль всего лабиринта.

Кроме этого, в лабиринте есть орган, который по внешности напоминает арфу. Струнами арфы являются волокна различной длины и толщины. Волокна натянуты, и их более трех тысяч. Пока давление воздуха с обеих сторон барабанной перепонки одинаково, барабанная перепонка находится в покое.

С появлением звуковых волн атмосферное давление со стороны наружного уха изменяется, и барабанная перепонка приходит в движение.

Раз барабанная перепонка прогнулась внутрь, воздух внутри среднего уха сжался. Если сразу за этим вследствие разрежения давление воздуха в наружном ухе уменьшилось, то упругость воздуха прогибает барабанную перепонку в противоположную сторону. Периодическое изменение величины атмосферного давления приводит к периодическим движениям барабанной перепонки. Движение барабанной перепонки передается молоточку, который прикреплен к ней одним концом. Вслед за молоточком начинают двигаться и сочлененные с ним косточки: наковальня и стремя. Стремя упирается в пере-

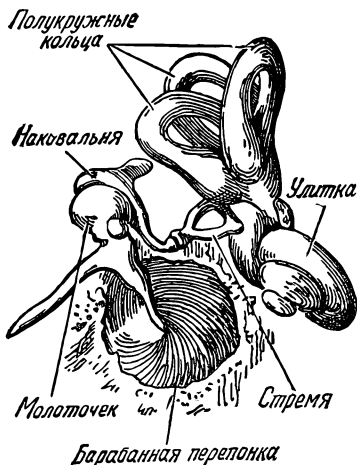


Строение слухового аппарата человека.

понку, которая отделяет среднее ухо от внутреннего, и при своем движении заставляет ее совершать колебания. Благодаря этому и жидкости, заполняющей лабиринт, возникают упругие волны. Совместно с колебанием частичек приходят в движение легкие остренькие волоски, которые передают колебание корешкам нервов, а оттуда раздражение попадает в мозг.

Если колебания происходят в интервале 16—16 тысяч герц, мы слышим различные звуки. Конечно, этот интервал принят как средний. Ведь не у всех людей одинаковые уши. Иногда область воспринимаемых частот может быть значительно больше за счет увеличения числа колебаний, которое воспринимается ухом.

Изменение величины атмосферного давления может оказаться довольно сложным, как, например, в случае звучания оркестра, когда имеется много различных источников звука. В этом случае сложные колебания воспринимаются как единое целое всеми струнами арфы. Но каждая из них приходит в колебание только тогда, когда среди всех звуков содержится соответствующая ей частота, которую струна арфы воспринимает, совершая вынужденное колебание.



*Слуховые косточки и костный лабиринт.*

## Глухой музыкант

Трагедией жизни великого немецкого композитора Бетховена, автора замечательных симфоний, концертов, сонат и других музыкальных произведений, была постепенно усиливавшаяся глухота. В последние годы своей жизни гениальный музыкант оглох окончательно.

Но, несмотря на потерю слуха, Бетховен создавал



свою потрясающую музыку, будучи даже совершенно глухим!

Почему же ему это удавалось? Как мог композитор творить, не слыша звуков оркестра, не имея возможности услышать свое произведение?

Дело в том, что глухой Бетховен все-таки слышал звуки, создаваемые им. Когда композитор проигрывал музыку на рояле, он вел себя на первый взгляд очень странно: в зубах у великого музыканта находилась дирижерская палочка, и он крепко упирался ею в крышку рояля.

Так он слушал музыку. Не удивляйтесь, мы не оговорились — Бетховен именно слушал музыку, хотя и был совершенно глух.

Это необычайное восприятие звука называют костной проводимостью. Многие из вас знают, как резко усиливаются еле слышные звуки камертона, если прислонить его к темени или к зубам.

В этих случаях звук распространяется в костях черепа, а это приводит к изменению положения улитки среднего уха. Деформация стенок улитки возбуждает колебание жидкости, и появляется то, что в науке называют слуховым раздражением. Короче говоря, мы слышим звуки. Полная глухота наступает лишь тогда, когда бо-

лезню поражено и внутреннее ухо. И не имея возможности слушать звуки со стороны, глухой Бетховен не потерял способности контролировать себя.

Между прочим, благодаря костной проводимости мы слышим собственный голос. Попробуйте записать свой голос на магнитофон, а потом прослушать запись. Вас удивят эти звуки. Вы их никогда не слышали, хотя это ваш же собственный голос.

Почему же его нельзя узнать?

Дело в том, что мы привыкли воспринимать свой голос благодаря костной проводимости; поэтому тембр его в записи будет другим, не похожим на тот, который мы ежедневно слышим. Наш собственный голос покажется нам чужим и незнакомым.

Так мы слышим себя.

Слушая различные звуки, мы можем точно определить, откуда они доносятся, с какой стороны распространяются. Как мы это делаем?

Слуховые раздражения каждого уха приходят в мозг одновременно только в том случае, когда источник звука находится на равном расстоянии от ушей. Во всех остальных случаях слуховое раздражение, посылаемое одним ухом, приходит в мозг раньше, чем от другого. Мы сразу реагируем на это, поворачивая голову в ту сторону, каким ухом мы раньше услышим звук. Таким образом, восприятие звука двумя ушами делает возможным определить положение источника, излучающего звук. Это называется бинауральным эффектом.

## Как бы звучал Царь-колокол

Вверх по течению Москвы-реки от устья Яузы до устья Неглинки, на крутом холме, восемь веков тому назад возникло крохотное поселение. Основатель этого поселения князь Юрий Долгорукий выбрал этот холм, учитывая его особое положение в сравнении с другими. Холм был покрыт густым, непроходимым лесом, который окаймляли полноводные реки. В те далекие от нас времена густые, непроходимые леса называли «бор» или «кремь». Отсюда и происходит, по мнению историков, слово «Кремль».



*Колокольня Ивана Великого.*

Крохотное поселение быстро разрасталось. Новые поселенцы располагали свои селения вокруг Кремля, на других, близлежащих холмах.

Со временем поселения превратились в огромный город, имя которого — Москва.

Для первых поселенцев Москвы было ясно, что ни дремучий бор, ни полноводье рек не могут защитить их от непрошенных гостей. Поэтому они воздвигли вокруг холма, у самых берегов рек Москвы и Неглинки, толстые дубовые стены с башнями.

Холм, огражденный дубовыми стенами, и был в те времена городом, а спустя восемь веков превратился в центр столицы великого социалистического государства — Союза Советских Социалистических Республик.

Во времена Дмитрия Донского дубовые стены, пришедшие в ветхость, были заменены новыми, уже не деревянными, а каменными. Камень для стен был выбран белый. Поэтому город стал называться белокаменным.

При Иване III белокаменные стены, выветренные непогодой и израненные бесчисленными врагами, стали заменять новыми, кирпичными. Благодаря заботам потомков стены и башни сохранились до наших дней.

В центре Кремля, на самом высоком месте холма, была выстроена колокольня более восьмидесяти метров высоты. Строили, достраивали колокольню на протяжении чуть-чуть менее ста лет — с 1505 по 1600 год.

На верх колокольни ведут крутые лестницы. По ним поднимались дозоры для обозрения окрестностей Москвы.

Обнаружив приближение незваных гостей, дозоры предупреждали об этом горожан набатом колоколов. Он разносился далеко-далеко и был слышен в едва видимых с башни деревнях, разбросанных в бескрайних лесах, окружающих город.

Колокола звучали над Москвой не только в години бедствий и праздников. В течение дня они несколько раз собирали людей для совершения христианских обрядов.

Звук одних колоколов был густой и тревожный, другие переливались радостным, малиновым звоном.

Самый большой колокол на колокольне, который находится там до сего времени, весит семьдесят тонн.

Искусные мастера литейного дела на Руси того времени умели отливать гигантские колокола. Самым прославленным из них оказался Иван Моторин.

В 1735 году Иван Моторин с сыном Михаилом отлили такой колокол, какого не видели не только за морями, но и на Руси, хотя литье колоколов на Руси было не в диковинку. Вес этого колокола, изукрашенного затейливыми узорами, составил почти двести тонн. За это его и назвали «Царь-колокол».

Но в этот колокол никто и никогда не звонил. Он никогда не был установлен на колокольне Ивана Великого.

Случилось это так. Отливали колокол в яме у подножия кремлевского холма. Когда колокол был готов, стали сооружать леса, поднимая его на высоту холма, чтобы затем волоком по настилу оттащить к колокольне.

Два года ушло на сооружение приспособлений для подъема колокола из ямы. В 1737 году гигант уже находился на уровне вершины холма. Теперь оставалось соорудить настил и оттащить его на вершину. Но случилась беда — возник пожар. Жадный огонь пожирал леса, удерживающие Царь-колокол. Его братья-колокола надрывались на колокольных городах, собирая народ гасить пламя. Однако огонь не унимался. Его погасила другая стихия — дождь, который пошел к исходу дня. Но леса, удерживающие колокол, не выдержав тяжести многопудовой махины, обрушились, и колокол упал в яму, наполненную дождевой водой.

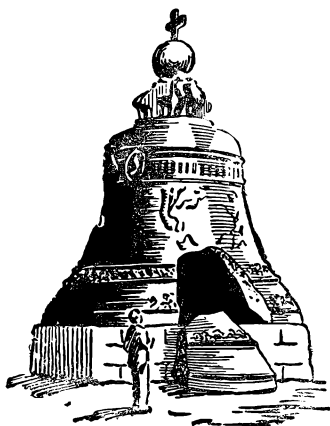
Когда колокол опять попал в яму, из которой его два года так хитроумно доставали, он дал ряд трещин, ибо был раскален, а в яме была вода.

После всего случившегося его оставили в яме. Слишком велико было огорчение, да к тому же строителей отвлекли на другие дела.

И пролежал он там сто лет и три года.

А потом его вытащили из ямы и поставили у подножия колокольни, где он находится и по сей день.





*Царь-колокол.*

Во время установки колокола на подставку край колокола выщербился; осколок, который весит одиннадцать тонн, был оставлен около подставки.

Такова судьба самого большого колокола на земном шаре.

Но как бы звучал этот колокол?

Познакомимся прежде всего с законами звучания тел наиболее простой формы. К таким телам относятся прутья, или, как принято их называть, стержни.

Многочисленные наблюдения над колебаниями прутьев, изучением которых занимался академик Петербургской Академии наук Леонард Эйлер, показывают, что если концы прута не закреплены, то он может совершать колебания таким образом, что только две точки его, одинаково отстоящие от концов, остаются неподвижными, а все остальные колеблются. Неподвижные точки называют узлами.

Если теперь прут сгибать, то узловыe точки будут сближаться. В том случае, когда мы согнем прут так, что концы его станут параллельными друг другу, узловыe точки будут находиться вблизи места сгиба. Согнутый стержень, укрепленный на подставке в месте сгиба, называют камертоном. Это название вы наверняка слышали.

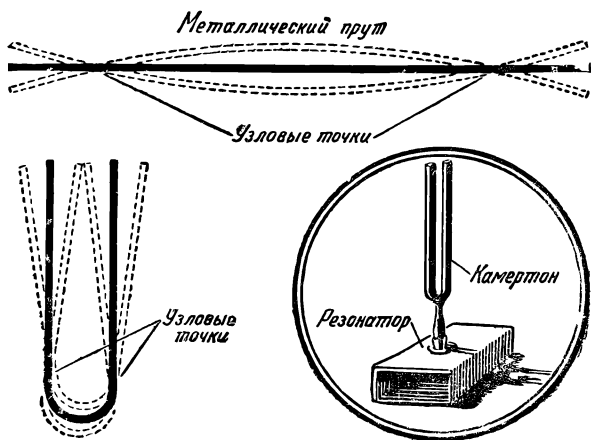
При колебании согнутого стержня — камертона, концы его то сближаются, то расходятся, создавая вокруг себя сжатие и разрежение воздуха. Эти колебания распространяются в пространстве во все стороны. Если их частота больше 16 герц и меньше 16 тысяч герц, то эти изменения величины атмосферного давления воспринимаются нашим ухом как звук.

А частота колебаний камертона зависит от многих причин — от длины ножек, площади поперечного сечения прута и свойств материала, из которого он изготовлен, то есть от его плотности и упругости.

Значит, каждый камертон, каким бы образом мы ни заставили его совершать колебания, колеблется с одной и той же частотой, которая определяет основной тон. Если же возникают высокие тона, то они столь слабы, что лежат ниже порога восприятия. Поэтому и создают наборы камертонов, с помощью которых можно получить различные чистые тона. Маленькие камертоны, изготовленные из тонких прутьев, колеблются с большой частотой, а большие имеют меньшую частоту колебаний.

Подставка камертона — деревянный ящик, открытый с одной стороны. Если открытую сторону ящика закрыть, то звук камертона становится слабее. Ящик, усиливающий звук, называют резонатором.

Дело в том, что воздух, который находится внутри ящика, можно заставить совершать колебания, если его вывести из состояния равновесия, как целое. Частота возникающих при этом собственных колебаний, зависит от объема ящика, в котором находится воздух. Поэтому размеры ящика делают такими, чтобы собственная частота колебаний воздушного столба оказалась близкой к основному тону камертона. Когда камертон звучит, колебания давления окружающего воздуха действуют на столб воздуха в ящике как внешняя периодическая



Камертон.

сила. И появляются уже знакомые нам вынужденные колебания, частота которых совпадает с собственной частотой резонатора. Амплитуда колебаний акустического давления благодаря этому резко возрастает.

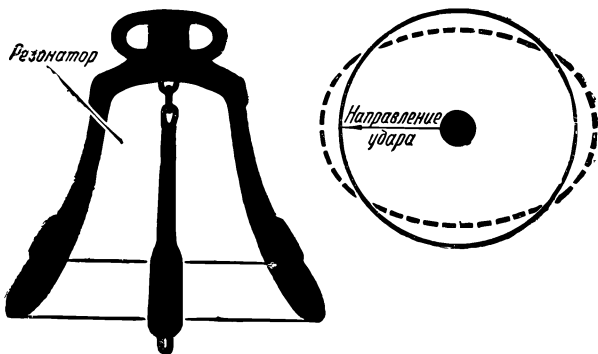
Вернемся теперь к колоколу. Почему он издает звуки? Могучее звучание колокола происходит вследствие колебания его стенок. А стенки приводятся в колебательное движение ударом языка, который находится внутри колокола. Он укреплен в его верхней точке.

Колебание стенки происходит так, что колокол как бы делится на четыре равные части. При этом если две противоположные сближаются, то две другие удаляются. Линии раздела называются узловыми. Вспомните узлы камертона.

При таком делении колокол издает основной тон. Иногда, в зависимости от того, как мы ударим колокол, кроме основного тона, появляются верхние тона. При этом происходит деление колокола на большое число частей — сегментов.

Каждый колокол имеет свой, отличный от других тембр. Толщина стенок колокола делается неодинаковой. Это и создает обертоны. Снизу его стенки очень толстые, а к вершине их толщина заметно уменьшается. А объем воздуха внутри колокола является резонатором, который усиливает его колебания.

Число колебаний колокола, которому соответствует основной тон, зависит от его толщины и диаметра.



*Схема звучания колокола.*

Подсчитать основной тон Царь-колокола можно только весьма приближенно из-за сложности его формы. Строгий расчет представляет собой довольно сложную математическую задачу, решение которой тем не менее все же останется приближенным.

Когда такой подсчет был сделан, оказалось, что основной тон Царь-колокола должен был быть очень низким. Вряд ли этот низкий звук могли все услышать.

Но ведь колокол не дает одного основного тона. В его тембре имеется много высших тонов.

Различная толщина колоколов как раз и делается для того, чтобы было возможно ударом языка в различных местах возбуждать различное число высших тонов.

Так что более высокие тона Царь-колокола наверняка были бы слышны.

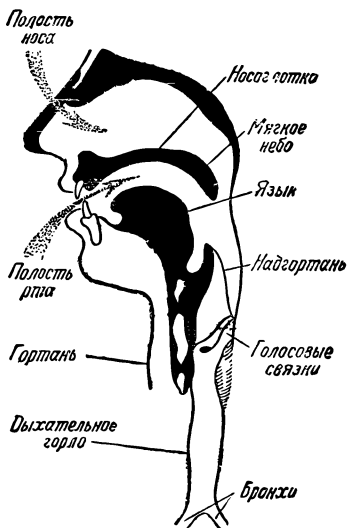
Это хорошо знали мастера глубокой древности, оставившие нам замечательные памятники своего искусства, среди которых видное место занимает гигант Московского Кремля.

\* \* \*

Самый совершенный из всех источников звука — голосовой орган человека. Это очень сложный аппарат — сложнее любого музыкального инструмента.

Легкие, гортань, голосовая щель, голосовые связки, воздушные полости рта — вот что дает возможность человеку говорить, петь, кричать. Как он это делает?

Воздух, выходя из легких при их сжатии, проходит через дыхательную трубу, на конце которой расположены эластичные голосовые связки. Проходя в узкую щель между голосовыми связками, воздух заставляет их совершать различные колебания. Частота этих колебаний зависит от того, как напряжены голосовые связки.



Строение голосового аппарата человека.

Иногда, когда человек простужен, появляется хрипота голоса. Это происходит оттого, что мокрота попадает в щель между голосовыми связками.

Что делает голос человека таким совершенным источником звука? Во-первых, скорость и точность, с которой голосовые связки могут изменять свое натяжение, форму и ширину щели, а также резонансная полость рта, геометрические размеры которой меняются в связи с изменением положения голосовых связок.

В одной из комедий замечательного французского писателя Мольера герой удивляется тому, что, сам того не зная, он всю жизнь говорил прозой.

Каждый из вас произносит различные звуки. Но как эти звуки образуются, не все знают.

Мы сейчас расскажем об этом, и многие из вас окажутся в положении господина Журдена — героя комедии Мольера.

Вот, например, образование гласных звуков.

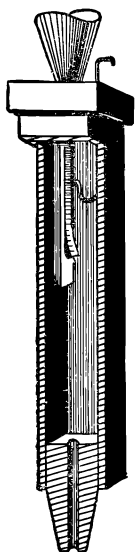
Они создаются голосовыми связками. Но звучат гласные очень сильно. Как создается такое сильное звучание?

Оказывается, воздушные полости рта создают усиление этих звуков — получается резонанс. При этом усиливаются только те обертоны, частота которых в четное число раз больше частоты основного тона.

Когда мы произносим гласные «о», «у», «а», все воздушные полости образуют один большой резонатор. Зато, произнося «е» и «и», мы перегораживаем полость рта нёбной заслонкой на две части.

В этом случае передняя полость усиливает высокие частоты, а задняя — низкие.

Согласные звуки глуше гласных. В их воспроизведении участвуют не только голосовые связки. Важную роль в правильном воспроизведении этих звуков играет трение струи воздуха. Если струя проходит между языком и зубами, появляется звук «с»; между языком и твердым нёбом — звуки «ж», «з», «ш» и «ч»; между языком и мягким нёбом — звуки «г» и «к».



*Разрез  
органной  
трубы.*

Многие произносят эти звуки не очень хорошо, иностранцам трудно дается русское произношение — это все объясняется тем, что устройство рта у всех различное, а у иностранцев сказывается привычка произносить различные звуки, в основе те же самые, по-разному.

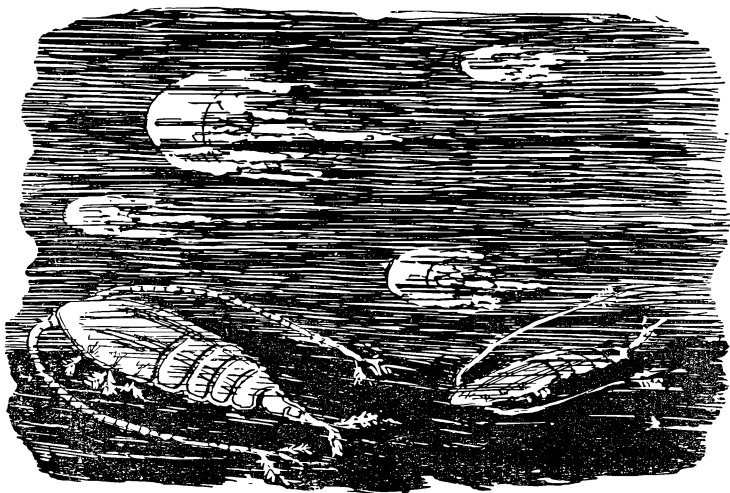
Говорят не только люди. Существует множество игрушек, обладающих способностью «говорить». Они устроены очень просто. Для этой цели приспособлены органические трубы. В зависимости от их числа и тона каждой трубы можно получать различные гласные звуки. Для звука «а», например, хватит всего лишь трех труб.

Некоторые куклы, устроенные довольно сложно, могут говорить даже слова, многие из них очень внятно говорят «мама».

Игрушки — предмет забавы. Но аналогичное устройство помогает многим больным людям, гортань которых повреждена.

Созданы образцы искусственных гортаней, которые дают возможность людям внятно говорить. При этом человек пользуется воздухом легких, а высоту тона регулирует рукой. По трубке звук, полученный таким образом, поступает в воздушную полость, где и появляется речь. Речь человека с искусственной гортанью вполне членораздельна, ее можно хорошо понимать.





## ТАЙНА НЕСЛЫШИМЫХ ЗВУКОВ

### Поющие кристаллы

За последние годы в технику стремительно вошли приборы, использующие неслышимые звуки. Так называют упругие волны, частота колебаний которых более 16 тысяч или менее 16 герц. Обычные уши их не услышат, но возникают эти звуки очень часто.

Если тело колеблется менее чем 16 раз в секунду, то говорят, что оно излучает инфразвук, а если более 16 тысяч, то такое тело излучает ультразвук, тот самый ультразвук, о замечательных применениях которого так много сейчас пишут.

Ультразвук излучают специально устроенные излучатели, при помощи которых можно создать колебания, число которых в секунду достигает не только десятков тысяч, но даже сотен миллионов. Такое большое число колебаний в секунду не может осуществить ни одно механическое устройство. Но изобретательный ум человека

использовал для этого одно из явлений природы и, если так можно выразиться, вывернул его наизнанку.

При этом и были получены колебания, число которых во много раз превышало 16 тысяч. Вот как это произошло.

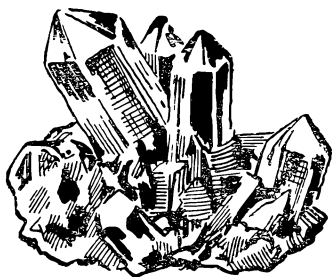
В 1880 году французские ученые, братья Кюри, Пьер и Жорж, наткнулись на интереснейшее явление. Они обнаружили, что если взять кристалл кварца и сжать его в одном направлении, то на гранях, перпендикулярных этому направлению, возникнут электрические заряды: на одной грани положительные, а на противоположной — отрицательные.

Так как электрические заряды появлялись при сжатии кристалла, а по-гречески слово «давить» будет «пьеzo», то явление это было названо пьезоэлектричеством.

Это явление привлекло к себе внимание многих исследователей. Начались поиски кристаллов, электризующихся при сжатии. Проходили они весьма успешно. За короткое время было обнаружено, что, кроме кварца, электризуются турмалин, сегнетова соль, цинковая обманка, хлорат натрия и сахар. Все эти вещества получили название пьезоэлектриков.

Оказалось, что заряды на гранях кристаллов могут возникнуть и в том случае, когда кристаллы растягивают, но при этом образуются заряды противоположного знака.

Изучая это явление теоретически, ученые пришли к выводу, что пьезоэлектрический эффект может быть обратим. Это означало, что если на гранях кристалла расположить электрические заряды противоположных знаков, то он либо сожмется, либо растянется. Братья Кюри заинтересовались этим теоретическим предвидением и подвергли его экспериментальной проверке. Результаты их опытов оказались положительными: заряжая грани кристалла, они наблюдали сжатие и расширение. Однако серьезного практического применения этому явлению они не нашли. Правда, на этом принципе ими был сконструирован манометр — прибор для измерения дав-



*Природные кристаллы кварца.*



ления, но особых преимуществ перед другими манометрами он не имел.

О замечательных особенностях кристаллов кварца, турмалина, сегнетовой соли и других постепенно стали забывать.

Явление пьезоэлектричества вскоре после его открытия осталось без всякого внимания, так как не нашло себе практического применения. Упоминали о нем на лекциях как о забавном способе получения электрических зарядов.

Но история развития науки знает немало таких примеров, когда ученые возвращались к давно открытым, оставленным без внимания явлениям, находясь в тупике при решении неотложной практической задачи. Так получилось и с пьезоэлектрическим эффектом. В мировую войну 1914—1918 годов немецкие подводные лодки серьезно затрудняли мореплавание надводных кораблей Франции и Англии. Нужно было найти способ обнаружить подводную лодку задолго до того, как она приблизится к надводному кораблю, чтобы нанести ему смертельный удар. За решение этой задачи взялся известный французский ученый Ланжевен. Ему пришла мысль воспользоваться тем, что лодка, двигаясь, создает винтом в воде упругие волны. Они распространяются со скоростью более 1500 метров в секунду. Следовательно, если погрузить кристалл кварца в воду, в которой происходят сжатия и разрежения, то он будет тоже сжиматься и растягиваться вследствие сжатия и разрежения окружающей его воды. На его гранях в это время будут появляться и исчезать электрические заряды, которые легко обнаружить.

Вот когда пригодился забытый эффект. Опыты Ланжевена, проведенные в 1916 году, оказались успешными. Он быстро сконструировал прибор, который улавливал шум подводных лодок, и подводные лодки уже не могли считать себя неуловимыми. А Ланжевен экспериментировал дальше. Он попробовал подействовать на пластинки кварца током высокой частоты — попеременно заряжать грани кристалла кварца электричеством от генератора переменного тока. И кристалл покорно повторял изменения тока — он начал колебаться в такт с изменением знаков заряда. Так пьезоэлектрический эффект и был вывернут наизнанку, то есть обращен для получения

колебаний высокой частоты. Мы скоро узнаем, для чего это было сделано. Быструю переменную электрических зарядов на гранях кристалла в то время уже умели производить при помощи специальных электрических генераторов. Число колебаний в секунду довели до десятков и сотен тысяч.

Так, используя пьезоэлектрики, научились получать ультразвук.

Другой способ получения ультразвука был открыт и исследован тоже не совсем обычно. Немецкий физик Джоуль в 1847 году при изучении магнитных свойств металлов обнаружил странное явление. Он брал стержень из хорошо намагничивающихся веществ, таких, как железо, кобальт, никель, наматывал на него провод, а затем пропускал переменный ток. И под действием переменного магнитного поля, которое в этом случае возникало, стержень изменял свои размеры и форму. Он то уменьшался, то увеличивался в такт с изменением направления тока. Колеблющийся стержень способен вызвать колебания окружающего воздуха, то есть породить звуки. Но если число перемен направления тока в секунду сделать очень большим и, следовательно, заставить стержень совершать такое же число колебаний, то можно получить колебания очень высокой частоты — звуки, не слышимые ухом.

Изменение размеров стержня при перемагничивании получило название магнитоstriction, от латинского слова «стриктус», что означает сжатие. Это явление также обратимо. При быстром сжатии или растяжении такого стержня в проволоке, которой он обмотан, потечет переменный электрический ток.

Магнитоstriction значительно большее время находилась в забвении, хотя и была открыта гораздо раньше, чем пьезоэлектричество. Мысль об использовании этого явления для получения колебаний высокой частоты возникла совсем недавно, уже после того, как были созданы пьезоэлектрические излучатели и приемники ультразвука.

А между тем магнитоstrictionные приборы прочны и удобны в обращении. Поэтому сейчас они становятся все распространеннее.

Мы не будем касаться конструкции различных приборов, в которых используются явления пьезоэлектричества и магнитоstriction для получения ультразвука.

Лучше поговорим теперь о том, зачем нам собственно понадобились неслышимые ультразвуки, чем они помогают нам жить, как используются.

Это целая глава в современной технике, глава новая, которая написана совсем недавно. К ней все время дописываются целые разделы. И многое из того, о чем мы здесь расскажем, вас, наверное, удивит, так как вы узнаете, что давно пользуетесь услугами ультразвука, что он ваш старый, хороший друг.

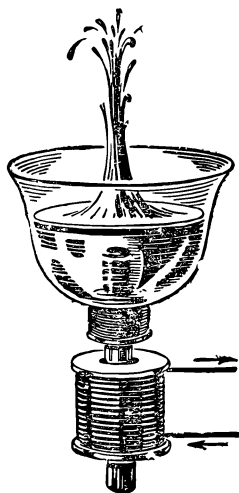
## Мастер на все руки

Все многообразие технических усовершенствований создается по мере глубокого изучения различных свойств ультразвука и возможного сочетания их с другими, уже изученными явлениями природы. Вот, например, так называемый ультразвуковой фонтан. Представьте себе сосуд с минеральным маслом, на дне которого расположен излучатель ультразвука.

Колебания излучателя передаются окружающей его жидкости — в ней распространяются ультразвуковые волны. Достигая поверхности жидкости, они создают при малых амплитудах зыбь. При достаточно больших амплитудах, когда силы поверхностного натяжения жидкости оказываются меньше сил упругости, поверхность жидкости над пластинкой, излучающей ультразвук, разрушается и образуется фонтан. Высота такого ультразвукового фонтана достигает нескольких десятков сантиметров.

Это явление широко используется. Всем хорошо известно, что ртуть и вода в обычных условиях не перемешиваются. Нальем их в пробирку. Ртуть будет внизу, а над ее выпуклой поверхностью будет находиться вода.

Если теперь пробирку, в которой налиты ртуть и вода, поместить в фонтан или опустить в жидкость над излучателем, то через не-



Ультразвуковой фонтан.

которое время обе жидкости в пробирке перемешаются, образуя так называемую эмульсию.

Широко распространенной и хорошо всем известной эмульсией является молоко — перемешанные вода и жир. При помощи ультразвука можно получать различные эмульсии, смешивая самые разнообразные жидкости.

Это обстоятельство позволило фармацевтической промышленности, изготавливающей лекарства, воспользоваться ультразвуком для получения хорошо раздробленных смесей, нерастворимых друг в друге жидких веществ.

Вот на столе стоит банка майонеза. В изготовлении этой острой приправы самое активное участие принял ультразвук. Он же помогает приготовить маргарин. А фотоэмульсии? Чем меньше частицы эмульсии, тем фотоматериал лучше, допускает большие увеличения. И опять здесь помогает ультразвук.

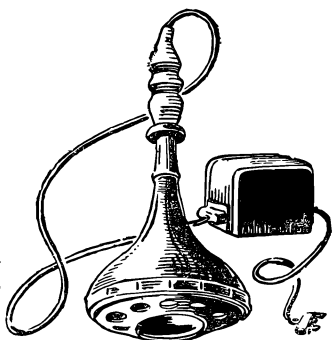
Способность измельчать нерастворимые друг в друге вещества, превращая их в однородную смесь, оказалась обратимой. Если, например, воздух, засоренный копотью, пылью и дымом, подвергнуть действию ультразвука, то под действием ультразвука происходит объединение большого числа мелких частичек в крупные, которые затем легко оседают. Такой процесс называется коагуляцией.

Этим свойством ультразвука воспользовались для очистки воздуха от пыли и дыма в местах большого скопления промышленных предприятий.

Хотя уяснить сущность биологического действия ультразвука удалось не сразу, но его начали использовать для уничтожения бактерий и микробов, содержащихся в жидкостях. Если посадочный материал об-



*Изготовлено с помощью ультразвука.*



*Ультразвуковая стиральная машина.*

работан ультразвуком, то улучшается произрастание семян растений и повышается урожайность.

Ультразвук оказывает губительное действие на различного рода личинки. Так, например, уничтожают личинок малярийных комаров в болотах. Ультразвуком стирают белье! Не удивляйтесь, именно стирают. Пыль и грязь, скопившиеся в тканях, не выдерживают высокочастотных колебаний, их выбивает из одежды. А это и есть стирка, только без воды и мыла. Но тем же ультразвуком можно окрашивать ткань. Это, видимо, скоро найдет самое широкое применение в текстильной промышленности. Окраска получается устойчивой и очень качественной.

Область применения ультразвука особенно расширилась после того, как открыли интереснейшее явление, называемое кавитацией.

С некоторых пор механики обнаружили, что гребные винты на быстроходных морских судах портятся слишком быстро. После непродолжительного срока службы хорошо отполированные, не подвергающиеся ржавчине винты кораблей оказывались изъеденными рьябью, подобно земле, израненной разрывами снарядов. Винты имели такой вид, как если бы их поверхность разъел червь. Аналогичное явление наблюдали и на лопастях гидротурбин. Этим вопросом стали заниматься всерьез. Нужно было во что бы то ни стало устранить губительное разрушение поверхности лопастей корабельных винтов и турбин, движущихся с большими скоростями.

Причину удалось установить лишь после того, как было обнаружено, что аналогичному разрушению подвергается поверхность излучателя ультразвуковых колебаний, помещенного в жидкость. Причины этого должны быть скрыты в мощных упругих колебаниях, распространяющихся в жидкости.

Посмотрим, что там происходит.

При распространении колебаний в момент сжатия возникают большие давления. В следующий за сжатием момент разрежения из-за больших скоростей движения частиц в жидкости возникают разрывы. В образующиеся пустоты и устремляются пузырьки воздуха, а вместе с ними и пары жидкости. Когда вновь наступает сжатие, внутри жидкости развиваются колоссальные давления. Этот-то процесс и называется кавитацией. Если такой

процесс протекает вблизи металлической поверхности, то под действием кавитационных импульсов давления происходит разрушение поверхности металла. Так разрушается металлическое покрытие ультразвуковых излучателей.

А лопасти винтов и турбин? Что происходит там?

Дело заключается в том, что при быстрых движениях лопастей также возникают ультразвуковые колебания большой мощности. Поэтому в жидкости появляется кавитация и наблюдается разрушение поверхности винтов и турбин. Для ультразвуковых излучателей момент начала кавитации является пределом излучаемой мощности, а для гребных винтов и лопастей турбин — пределом скорости движения.

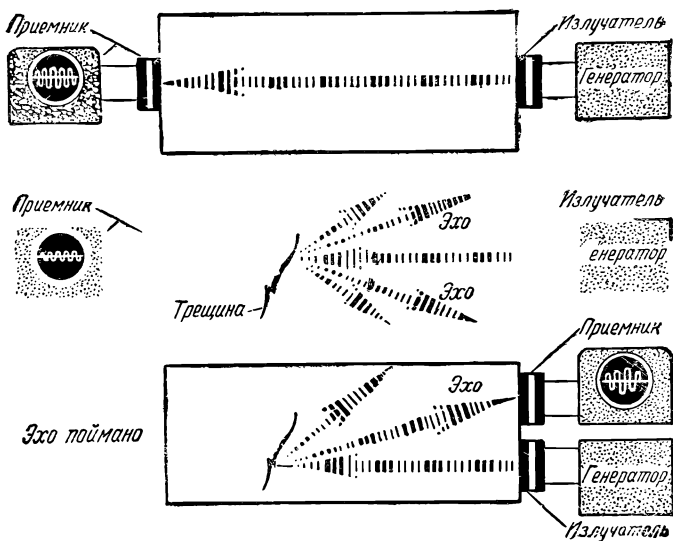
Вредное, разрушительное действие кавитации остроумно использовано в повседневной производственной деятельности человека.

Всем хорошо известно, что алюминий очень трудно паять. Трудность заключается в том, что поверхность всех металлов всегда покрыта пленкой окиси. Перед пайкой ее необходимо удалить. Обычно это осуществляют зачисткой, а в момент пайки зачищенное место закрывают веществом, которое предохраняет металл от окисления при нагреве.

Предохраняющие вещества называются флюсами. Таким материалом является, например, канифоль. Все радиолюбители знают, что без нее паять трудно. А сам паяльник предварительно нужно залудить.

Обычные методы пайки для алюминия непригодны. Пленка окиси хотя и не очень прочна, но окисление происходит при самых обычных, комнатных температурах. Поэтому стóит только удалить пленку, как она вновь появляется. Приходится идти на хитрость. Зачистку алюминия производят под флюсом, который одновременно является и припоем. Затем к нанесенному на поверхность алюминия припою напаивают основной металл. Такой процесс пайки труден и ненадежен.

Если воспользоваться явлением кавитации, то пайка осуществляется легко и надежно. Для этого достаточно в жидком припое создать мощные ультразвуковые колебания. Окисленной пленки как не бывало, и припой надежно соединяет алюминий с другим металлом. Пайка алюминия — лишь один из примеров использования яв-



Просвечивание ультразвуком.

ления кавитации. Но этот пример весьма поучителен. Разрушительное действие кавитации обращено здесь на пользу человеку. Использовать явление кавитации удастся и в целом ряде других случаев, например при обработке прочных материалов, которые с большим трудом и ненадежно обрабатываются обычным методом.

Явление кавитации, если его разумно направить, открывает широкое поле деятельности для изобретателей и новаторов производства. Кавитация позволяет экономить инструмент и время при обработке различных материалов. Например, необходимо вычистить загрязненное и к тому же заржавленное зубчатое колесо. Если действовать обычными методами, то придется очень долго очищать каждый квадратный сантиметр его поверхности.

Но процесс очистки происходит почти мгновенно, если погрузить колесо в ванну с жидкостью, где созданы мощные ультразвуковые колебания.

Тысячи разрывающихся воздушных пузырьков молниеносно снимут ржавчину и сразу очистят поверхность всех зубьев. А руками пришлось бы чистить по очереди каждый зуб — сколько бы это отняло времени!

Чистка загрязненной поверхности деталей — весьма простая работа для ультразвука. При его помощи можно решать и весьма сложные технические задачи. Вот, например, как ультразвуком проделывают отверстия в твердых сплавах. Изготавливают резец нужной формы и соединяют с излучателем ультразвуковых колебаний. Совершая колебания, резец ударяет в поверхность металла более десятка тысяч раз в секунду. Пока что металл не уступает. Его поверхность по-прежнему тверда; скорей иступится резец, чем в металле будет проделано хотя бы незначительное углубление. Но стоит только смочить металл и добавить абразив, как сразу же картина резко меняется — резец начнет погружаться в металл, как будто перед ним глина. Это происходит потому, что в жидкости, которой смочен металл, возникает кавитация.

Частицы абразива разрыхляют поверхность металла, и резец без труда погружается в него, проделывая отверстие. Качество работы при этом безукоризненное, дополнительной обработки не требуется. Точно таким же образом можно разрезать твердые или очень хрупкие тела — без брака и излишнего отхода материалов.

Особую сложность представляют фрезерные работы. Ультразвук успешно справляется и с ними.

Ультразвуковая обработка экономит время, необходимое для изготовления детали, экономит материал и инструмент, увеличивает производительность труда, изменяет и упрощает кинематику производства.

Одно из интересных свойств ультразвука позволило ему прочно обосноваться в промышленности строительных материалов.

Оказалось, что при помощи высокочастотных колебаний можно проверять качество бетонных сооружений. Если при кладке бетона он был недостаточно уплотнен, внутри образуются раковины — воздушные полости. Их можно обнаружить при помощи ультразвука, прозвучивая сооружение специальным ультразвуковым дефектоскопом. Этот прибор позволяет определить размер раковины и глубину ее залегания. Кроме того, выяснили, что скорость распространения ультразвуковых волн по мере созревания бетона увеличивается. Появилась возможность оценивать различные бетонные сооружения.

Бетон не сразу приобретает прочность. При укладке он жидкий, а затем мало-помалу твердеет, пока не



превращается в прочный массив. Этот процесс и называется созреванием бетона. Скорость ультразвука в бетоне на разных стадиях созревания различна, поэтому, измеряя ее, можно судить о процессе созревания.

Особая ценность ультразвукового контроля в том, что не требуется разрушать конструкцию из бетона для суждения о ее прочности. До применения ультразвука проверка прочности требовала разрушения специально изготовленных образцов. А это значит, что в конечном счете судили о прочности разрушенного образца, а не настоящего изделия. Ультразвук можно использовать и для повышения качества изготовления различных строительных материалов.

Для цементной, керамической и асбестовой промышленности очень важно получить мелкое зерно строительных материалов, так как от этого зависит прочность изготавливаемых изделий. Размол механическими приспособлениями не позволяет получать очень мелкие частицы. Но если, например, дробить их ультразвуком с частотой 450 тысяч герц, то размеры образующихся при этом частичек не превышают 12 микрон. Такой тонкий размол строительного материала весьма благоприятно сказывается на качестве изделий.

Мы, конечно, не могли рассказать всего об использовании ультразвука. Области его применения настолько широки, что о них можно написать очень много таких книжек. А жизнь идет вперед, каждый день приносит нам нечто новое. И много еще полезного принесет человечеству мир неслышимых звуков.

## „Голос моря“

Во вторую мировую войну между флотом союзников и немецкими кораблями разгорелась битва в океане.

На всех побережьях стояли станции подслушивания, на которых специальные приборы были наготове, чтобы в случае опасности предупредить командование о приближении вражеского флота.

И вот однажды была поднята тревога на американском побережье Атлантики. Шум моря, докладывал оператор, не прекращается в течение суток. Но в разное время он то усиливается, то слабеет. Это значит, что в море

все время создаются ультразвуковые волны. Если эти ультразвуковые волны создаются винтами подводных лодок и надводных кораблей, то к побережью движется несметный флот противника. Воздушная разведка, однако, не находила кораблей противника, а лишь обнаружила огромное скопление планктона — маленьких рачков, которыми питаются киты. Их, видимо, течением принесло к этому участку. Как выяснили ученые, они-то и создавали ультразвуковые волны, потирая одной лапкой о другую. Тревога была напрасной...

Но наряду с этими неслышимыми звуками в море были обнаружены звуки музыкальных частот.

Морских певцов вскоре обнаружили. Это были... рыбы, те самые немые рыбы, о которых сложили поговорки. Голоса рыб были записаны, и под каждой записью указали имя певца: жаба-рыба, морской петух, рыба-свинка, рыба-квакун, горбыль-пятно и рыба-кошка.

Теперь нельзя пользоваться выражением, когда дают клятву хранить молчание, «нем как рыба». Рыбы, оказывается, имеют голос.

Звуки голосов рыб в основном музыкальные.

Например, звук рыбы-квакун очень похож на звук боцманской «дудки».

Если морских певцов окажется много, то они, возможно, могут устроить настоящий концерт.

Но мир звуков моря не ограничивается ультразвуками планктона и музыкальными звуками рыб. Само море также издает звуки, но их частота меньше 16 герц, они неслышимы, — это инфразвуки...

Инфразвук, создаваемый морем, и называют «голос моря». Впервые его услышали не физики, изучающие море, а физики-аэрологи, которые занимаются верхними слоями атмосферы.

Было это в 1936 году на советском Севере, на гидрографическом судне «Таймыр», где проводилось изучение моря и верхних слоев атмосферы.

Для изучения температуры, влажности и давления в верхних слоях атмосферы аэрологи пользуются радиозондом.

Это резиновый шар, наполненный водородом. К шару прикреплена корзинка, в ней находятся измерительные приборы и радиопередатчик, который передаст результаты измерений на землю.

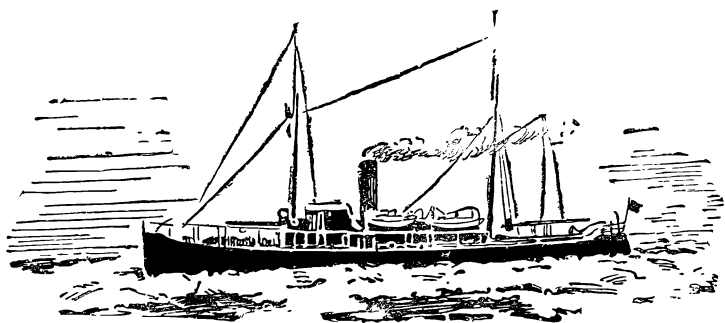
Аэрологи, как рассказал советский ученый Вл. Березкин, заметили, что, когда такой шар находился вблизи уха, там ощущалась слабая тупая боль. Как будто кто-то давил на барабанную перепонку.

Этим странным явлением заинтересовались все члены экспедиции на судне «Таймыр». Каждый по очереди подносил к уху шар, наполненный водородом, и с удивлением чувствовал неприятное давление. Академик В. В. Шутейкин повторил эти наблюдения в Москве, во время запуска радиозондов, но ничего не обнаружил. Никакой боли не ощущалось. Тогда решили, что причиной возникновения этой странной боли было море. Ведь все наблюдения на «Таймыре» проводились во время плавания.

Аналогичные опыты решили произвести на юге, у Черного моря. Но вместо водорода шар наполнили воздухом. Сколько ни подносили шар к уху, боль не обнаруживалась. Но стоило только заменить воздух водородом — и сразу же наблюдения, сделанные во время плавания «Таймыра», подтвердились. Значит, явление возникало только в шаре, наполненном водородом, и притом вблизи моря.

Что же может создавать боль в ушах?

Она может появиться лишь при наличии дополнительного давления, величина которого изменяется. Но так как мы не слышим этих изменений, то значит, колебания акустического давления либо выше 16 тысяч герц, либо меньше 16. Если бы они были больше 16 тысяч, то это был бы ультразвук, который способен создать острую боль вплоть до ожога. Ощущаемая боль была слабой и тупой. Следовательно, это действие инфразвука.



Поскольку явление наблюдалось вблизи моря, то легко было заключить, что источником инфразвука является море. Порывистый ветер где-то далеко в открытом море, где зарождается шторм, воздействует на поверхность воды, которая приходит в движение, создавая волнение. Это приводит к сжатию и разрежению воздуха над поверхностью моря. Распространяясь в пространстве, эти изменения и порождают инфразвуковую волну.



Ощущать инфразвуки могут не все люди. Впоследствии выяснилось, что некоторые жители побережья чувствуют его без всякого шара, наполненного водородом. Появление тупой боли в их ушах большей частью предшествует наступлению штормовой погоды. Поэтому, опираясь лишь на многолетние наблюдения, эти люди могут задолго до начала шторма предсказать его наступление — хорошее качество для моряка, но, к сожалению, оно далеко не всем присуще, а те, кто его имеет, как правило, страдают болезнью, называемой ревматизмом.

Вернемся к выяснению роли шара, наполненного водородом, при помощи которого впервые обнаружили инфразвуковые колебания — «голос моря».

Дело сводится вот к чему. Звуковая волна независимо от частоты распространяется в воздухе с одной и той же скоростью. Когда она встречает на своем пути шар, наполненный водородом, в котором скорость распространения звука почти в четыре раза больше, на поверхности шара происходит преломление и отражение инфразвуковой волны. Падающая на шар инфразвуковая волна, таким образом, отражается и частично преломляется. При этом она оказывает на оболочку шара давление, величина которого меняется с частотой падающей волны.

Давление со стороны падающей инфразвуковой волны является внешней силой, которая заставляет водород внутри шара совершать вынужденные колебания.

Если объем водорода имеет собственную частоту, близкую частоте падающей на шар волны, то амплитуда этих колебаний резко возрастает. Наступает явление резонанса, появляются инфразвуковые волны, амплитуда акустического давления которых во много раз больше амплитуды волны, падающей на шар.

И эти колебания воспринимаются ухом каждого человека как слабая тупая боль.

К такому выводу пришел академик В. В. Шулейкин при объяснении «голоса моря».

Однако эти рассуждения необходимо было проверить экспериментально и результаты опыта сопоставить с изложенной теорией.

Для этого тонкостенный резиновый шар наполнили водородом и укрепили в углу комнаты в домике на берегу моря. Предварительно подсчитали собственную частоту свободных колебаний взятого шара — она оказалась равной десяти. К шару прикрепили легкий алюминиевый стержень, на другом конце которого находилось зеркало. Зеркало осветили узким пучком света, который, отражаясь, падал на шкалу.

Море было спокойно, но покой был только вблизи берега. Где-то далеко от берега над морем рыскал штормовой ветер и, обтекая волны, порождал инфразвуковые колебания. Они быстро достигли берега и ворвались в дом, заставляя резонировать шар-зонд, наполненный водородом. Зайчик света при колебаниях шара двигался по шкале то в одну, то в другую сторону.

Десять колебаний в секунду — собственная частота шара. Если он колеблется, значит, частота звуковой волны близка к его собственной частоте. Это означало, что «голос моря» — инфразвуковая волна, ибо ее частота менее 16 герц.

А после окончания опытов советский ученый Доброклонский приступил к созданию прибора, который предупреждал бы моряков о приближающемся шторме.

Прибор Доброклонского представляет собой металлический шар с открытым горлышком.

Под действием «голоса моря», то есть инфразвуковых волн, возникающих в районе шторма, воздух внутри шара приходит в колебание, а в горлышке в это время он как бы продувается то в одну, то в другую сторону, создавая сильные потоки.

Для того чтобы обнаружить этот «ветер», в шар поместили проволочку, по которой проходит электрический ток. При прохождении тока проволочка нагревается и отдает тепло в окружающий воздух. Устанавливается «нормальное» охлаждение. Температура проволочки, а следовательно, и сопротивление ее остаются постоянными. Стрелка прибора, которым измеряют силу электрического тока, при этом находится на определенном делении шкалы.

Но стоит только появиться ветру, как тепловое равновесие нарушается, так как проволочка быстрее охлаждается и ее сопротивление становится меньше. Прибор показывает большую силу тока. Это значит, что появилась инфразвуковая волна, которая является предвестником шторма.

Таким образом люди научились предсказывать наступление шторма.

Но самое интересное то, что несколько раньше, чем отклонилась стрелка прибора Доброклонского, медузы, которые не жили у самого берега в теплой воде, стали энергично уходить в море.

Мелкие ракообразные существа, которые живут в сыром морском песке, также отплывали подальше от берега. Они почувствовали приближение шторма и, опасаясь за свою жизнь, спасали ее в глубинах моря и прибрежной траве. О приближении шторма их оповестил инфразвук — «голос моря», который они слышат. Скорость инфразвука в воде 1500 метров в секунду. Поэтому задолго до прихода шторма медузы уходят в море, а морские блохи и гаморусы — на берег.

Им не нужно пользоваться приборами — природа снабдила этих жителей моря способностью улавливать инфразвуки, которой, к сожалению, лишен человек.





## СЕКРЕТ ЛЕТУЧЕЙ МЫШИ

### Ночная путешественница

Летом в деревне, когда наступают сумерки, можно наблюдать, как мечутся зигзагами летучие мыши, шелестя сухими, угловатыми крыльями. Когда наблюдаешь их стремительный полет в темноте, кажется, что вот-вот они врежутся в ствол дерева или стенку сарая. Но каждый раз, встречая на пути препятствие, летучая мышь стремительно взмывает вверх или круто поворачивает в сторону, продолжая головокружительную погоню за крохотными насекомыми. До глубокой ночи идет эта неутомимая, полная риска охота ночной путешественницы.

Кажется, только чудо спасает ее от верной гибели.

Поистине удивительно, как удается летучей мыши с маленькими, подслеповатыми глазами заметить во тьме препятствие и, не снижая скорости, его обойти.

Это обстоятельство привлекло внимание естество-

испытателей. Самые тщательные исследования убедительно доказали, что зрение у летучей мыши весьма скудное. Она почти слепа. Но как она ориентируется в сложной обстановке и как отыскивает себе добычу — это долгое время оставалось тайной для всех. Никому и в голову не приходило, что летучая мышь намного опередила человека в практическом использовании ультразвука.

Для того чтобы в этом разобраться, оставим пока что мышь в покое. Пусть она продолжает охотиться, мы скоро снова к ней вернемся. Займемся отражением звука, которое называется эхом.

Вы, наверное, знаете, что эхо можно использовать для определения расстояния от источника звука до какого-нибудь препятствия. Это явление давно пытались использовать для определения глубины моря. Для этого в море опускали колокол и измеряли время, которое проходило от удара в колокол до появления отраженного от дна эха. Результаты этих опытов были малоутешительные. Эхо от звука колокола было очень слабое, оно еле-еле было слышно в общем шуме моря.

По этой причине морские глубины по-прежнему определяли лотом, то есть канатом, на конце которого был укреплен грузик.

Правда, звучание колокола было использовано для решения другой весьма важной задачи.

Во время тумана, когда свет маяков плохо виден с корабля, идущего в гавань, велика опасность кораблекрушения. Трудно войти кораблю в узкий пролив бухты без световых сигналов маяка. И тут неожиданно помог звук колокола. Его располагают против пролива на некоторой глубине в центре бухты и заставляют звучать. Звук, распространяясь во все стороны, выходит через пролив в море. Корабль имеет по бортам две слуховые трубы, и время появления в них звука будет, вообще говоря, различным. Если теперь корабль повернуть так, чтобы звук приходил одновременно, то, двигаясь к берегу по этому направлению, он безопасно может пройти пролив и войти в бухту, так как в этом случае идет точно посередине. Слуховые трубы по бортам корабля напоминают уши человека.

Звучание колокола под водой весьма слабое. Звуки большей мощности издает вращающийся диск с отвер-



ствиями, через которые продувают воздух. Это устройство звучит одинаково хорошо как в воздухе, так и в воде. Называют его сиреной. По древним сказаниям, мифам, сирены — живые существа, которые жили в воде; песни сирен увлекали корабли мореплавателей на подводные скалы. Так было, по преданию, давным-давно с аргонавтами, которые отправились из Греции в Колхиду искать Золотое Руно.

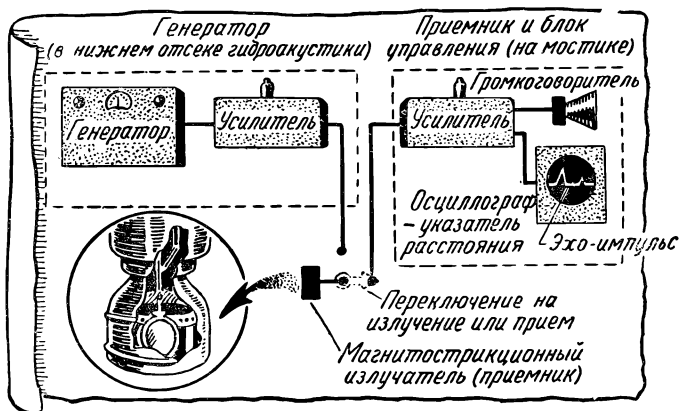
Спустя несколько десятков лет после первых попыток измерения глубины моря вновь возвратились к эхо. Но на этот раз использовали более мощные источники звука.

Прибор, пригодный для измерения небольших глубин, не более 150 метров, создал в 1912 году немецкий физик Бем. Это был первый эхолот; он принимал отраженный дном звук разорвавшегося на одном из бортов корабля патрона.

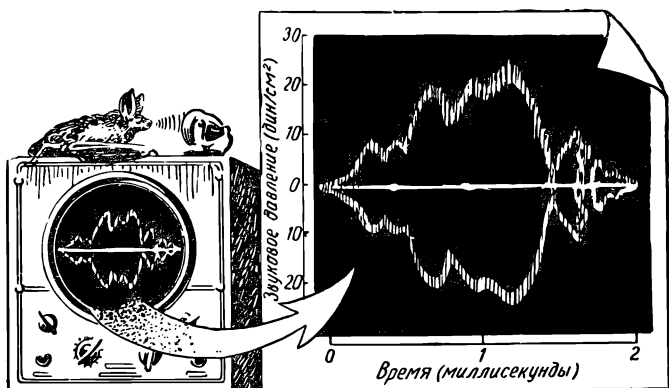
В приемник, расположенный на другом борту, поступала только отраженная звуковая волна.

В Америке в это время пользовались эхолотом, который изобрел физик Хейс. Отличался он от эхолота Бема тем, что источник звука посылал короткие сигналы, а приемник принимал прямые сигналы от источника и сигналы, отраженные дном.

Сигнал, отраженный от дна, приходил в приемник поз-



Блок — схема гидролокатора.



*Запись ультразвуков летучей мыши.*

же, чем прямой. Но если они посылались через определенные промежутки времени, то можно было добиться того, что отраженный сигнал приходил в приемник в тот момент, когда приходил какой-нибудь прямой. В этом случае, зная промежуток времени, через который приемником воспринимались прямые сигналы, можно было определить глубину моря.

Оба типа эхолотов в техническом отношении были далеки от совершенства.

Прежде всего потому, что эхо от дна можно было уловить только на малых глубинах. На большой глубине звук терялся, так как отраженный сигнал был очень слабым.

Излучатель эхолота должен посылать звук по одному направлению, отдавая всю энергию в «звуковой луч», а не распылять ее по всем направлениям.

Геометрический размер поверхности излучателя, который способен создать «звуковой луч», должен быть в несколько раз больше длины волны излучаемого звука.

Но самая короткая длина волны слышимого звука в воде будет, при условии, что излучатель делает 16 тысяч колебаний в секунду, чуть меньше 10 сантиметров.

Поперечник излучателя «звукового луча» в этом наилучшем случае должен быть около метра. Такой излучатель очень неудобен в обращении, тем более что получе-

ние механических колебаний частоты 16 тысяч герц — довольно сложная задача.

Эти причины принципиально не позволяли технически совершенствовать эхолоты.

Эхо от глубокого дна можно было получить, используя звуковые волны, которые лежат за порогом слышимости. Нужен был ультразвук.

Ультразвуковые волны излучаются излучателем малых размеров. Кроме того, ультразвуковую волну легко направить в нужном направлении. Но самое главное заключается в том, что ультразвуковые волны меньше поглощаются водой.

Гидролокатор представляет собой устройство, которое состоит из излучателя колебаний и приемника их. Звуковой луч, посланный излучателем, наткнувшись на препятствие, отражается в обратном направлении и принимается звукоприемником. Улавливая его, определяют расстояние до препятствия. Ощупывая звуковым лучом глубины моря, стало возможным легко определить не только наличие препятствия, но и его форму.

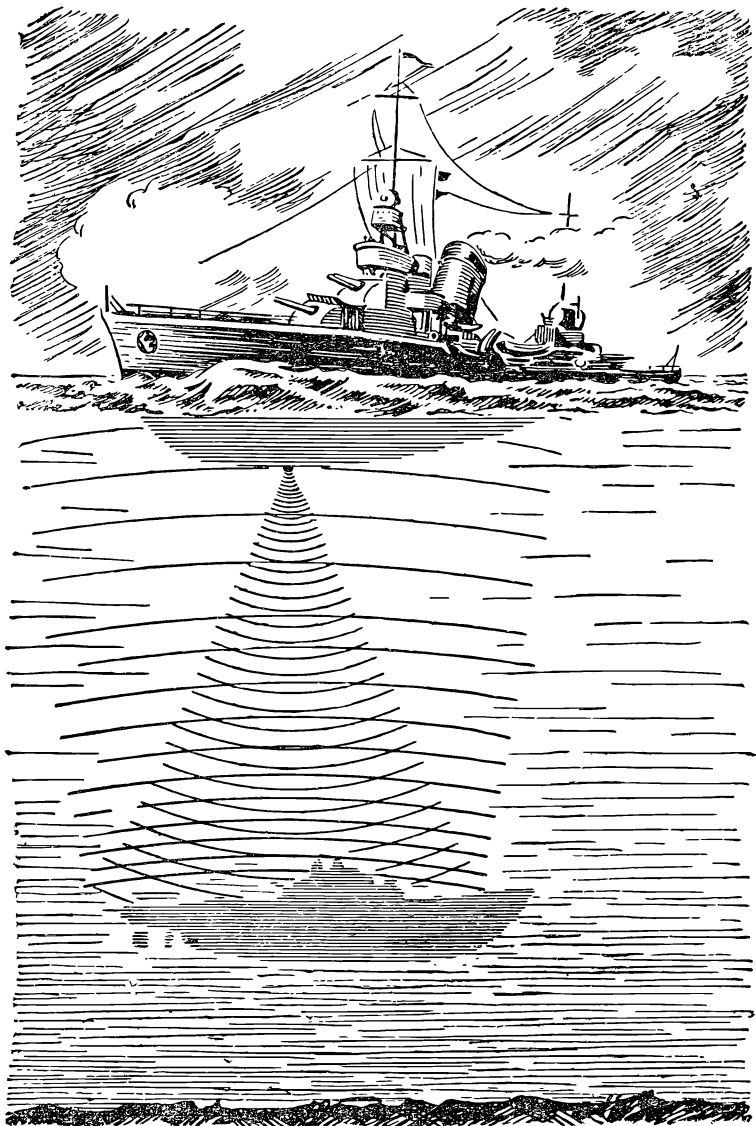
Лишь после того, как французский ученый Ланжевен предложил использовать ультразвук, гидролокация стала так широко применяться. Об успехах гидролокатора говорит тот факт, что много затонувших кораблей было найдено ультразвуковым лучом.

Так был обнаружен потопленный немцами в первую мировую войну корабль «Лузитания».

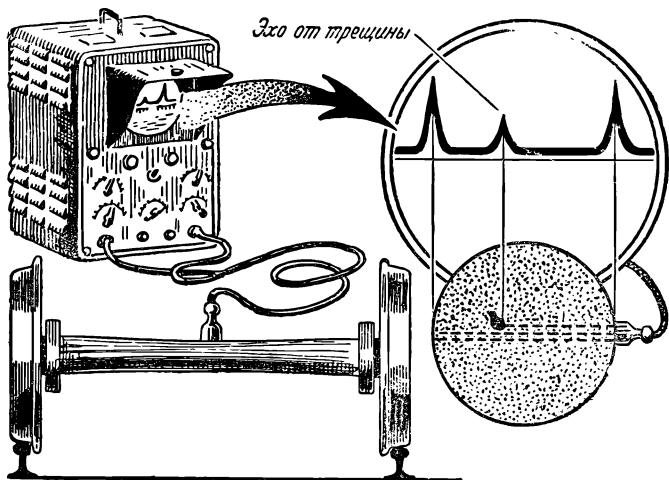
Во время морских войн гидролокаторы на надводных кораблях обнаруживают подводные лодки, а гидролокаторы на подводных лодках — надводные корабли. При этом подводной лодке нет надобности всплывать на поверхность моря, осматривать горизонт и тем самым обнаруживать себя. Усовершенствованный гидролокатор позволяет обнаружить препятствие, определить расстояние до него, его положение в море.

Ну, а теперь вернемся поскорее к летучей мыши, которую мы надолго забросили. Ее свободное поведение ночью натолкнуло исследователей на мысль, что летучая мышь обладает локационным устройством.

И действительно, ученые обнаружили, что их смелые предположения правильны. Летучая мышь пользуется ультразвуком и с помощью локации легко обнаруживает невидимые препятствия. Анатомические исследования



*Схема действия гидролокатора.*



*Схема работы отражательного дефектоскопа.*

летучей мыши показали, что у нее имеется устройство, излучающее через определенные промежутки времени короткие ультразвуковые сигналы, имеется и приемник отраженных сигналов. Меняя длительность промежутка времени при излучении, ей удастся определить расстояние до препятствия. Это и объясняет смелость полетов летучей мыши в темноте и ее удачную охоту. Летучую мышь изловили и заставили... спеть. Звуки этой «песни» оказались не чем иным, как короткими импульсами ультразвуковых волн.

Такими же свойствами, как было замечено, обладает и крохотная птичка колибри.

Устройство интереснейшего прибора — ультразвукового дефектоскопа — основано на отражении ультразвукового луча от неоднородностей внутри металла; здесь опять-таки наблюдается своеобразное неслышимое «эхо». Этот прибор был создан впервые профессором Ленинградского политехнического института С. Я. Соколовым. С его помощью можно обнаружить дефекты, расположенные на расстоянии от 5 миллиметров до 3 метров от поверхности металла.

Дефектоскоп Соколова — небольшой, весьма точный прибор. На экране этого прибора, напоминающем теле-

визионный, можно определять расстояние от поверхности металла до имеющихся внутри него дефектов. Дефектами в металле могут быть раковины, образующиеся при отливке, трещины и т. п. Дефектоскопом удобно проверять и готовые изделия. Однако дефектоскоп лишь позволяет определить наличие дефекта и найти расстояние до него от поверхности, что, естественно, не может во всех случаях удовлетворить потребности производства. Иногда необходимо точно знать форму и размер дефекта. Профессор С. Я. Соколов создал другой замечательный прибор — ультразвуковой микроскоп, при помощи которого стало возможным увидеть изъян, который обнаружен дефектоскопом. Ультразвуковой луч ошупывает дефект внутри металла, а на экране, как в телевизоре, можно видеть его изображение, форму и размеры.

Вот какие возможности скрываются в самом обыкновенном эхо! Один из героев Марка Твена коллекционировал различные места, отличавшиеся диковинными отражениями звуков. Но какую замечательную коллекцию составили бы приборы, использующие это всем известное явление, если бы их собрать все вместе!

## Архитектурная акустика

Архитектурная акустика занимается изучением законов распространения звука в помещениях.

Это очень сложная и интересная наука.

Сколько различных историй и легенд о таинственных голосах, о зловещем шепоте рассказывается повсюду!

В статье «Звук», которую написал сэр Джон Гершель для Британской энциклопедии, рассказан такой интересный случай.

В одном из соборов на острове Сицилия шепот исповедующихся в грехах верующих был хорошо слышен в противоположной стороне храма.

Случайно это место было обнаружено одним из верующих, который не только сам подслушивал тайну исповеди, но и приглашал развлекаться своих друзей. Это развлечение, однако, неожиданно прекратилось. Но произошло это не потому, что исповедь стала плохо слышимой. Злые языки говорят, что однажды герой этого рас-

сказа вместе со своими друзьями подслушал кое-что о самом себе, и ему стало совсем не до смеха.

На одном из южных островов Азии имеется колодец глубиной 70 метров и шириной 4 метра. Стенки его выложены гладкой плиткой. Если бросить в колодец даже иголку, то слышно, как она ударяется о воду.

А шепот, разносящийся на десятки метров!..

Вот, например, в Крыму, на побережье Черного моря, в Никитском ботаническом саду, на одной из аллей, есть такое место, где еле произнесенный шепот хорошо слышен в долине виноградника, спускающегося к морю. Но зато там совершенно не слышен громкий голос говорящих в долине. Все эти особенности поведения звука можно объяснить, если внимательно проследить за его распространением.

Архитектурная акустика занимается вопросами распространения, поглощения и изоляции звука в зданиях.

В чем заключается различие распространения звука в закрытом помещении от распространения в свободной атмосфере?

В закрытом помещении звук источника отражается от стен, потолка, пола, наполняя собой все помещение. Звук, идущий от источника, называют прямым — он раньше всех отраженных приходит к слушателю.

Отраженные звуки, если они приходят к слушателю на шесть сотых секунды позже основного, воспринимаются им как эхо.

Эхо следует одно за другим, постепенно замирая. Поэтому ухо после прямого звука слышит постепенно замирающий гул.

Такое послезвучание называют реверберацией.

Благодаря реверберации помещения обладают гулкостью.

Время реверберации должно находиться в строгих пределах. Если оно велико — это влечет за собой потерю четкости и разборчивости речи. При малом времени реверберации в помещении так же тяжело говорить и петь, как на открытом воздухе, ибо в этом случае запаздывающие звуки незначительно усиливают прямой звук.

Эти две причины обуславливают некоторое среднее время реверберации, при котором наличие отражений не

создает помех в четкости и разборчивости, а, с другой стороны, делает звук приятным.

Для помещений средних размеров такое время не должно быть меньше 0,6 секунды, но и не больше чем 1,3 секунды.

Примером помещения с хорошими акустическими свойствами является Колонный зал Дома союзов в Москве. Построил его архитектор М. Ф. Казаков в 1784 году.

Попытаемся теперь уяснить, как же происходит отражение звука.

Прежде всего следует заметить, что процесс отражения зависит от формы отражающей поверхности, которая разделяет две среды, — скажем, от формы стены.

Если она гладкая, то размеры имеющихся на ней шероховатостей меньше, чем расстояние между двумя слоями, в которых происходит сжатие или разрежение (это расстояние называют длиной звуковой волны). В этом случае происходит зеркальное отражение.

Но если шероховатости сравнимы с длиной звуковой волны, падающей на поверхность раздела, то звуковая волна рассеивается во все стороны. В этом случае говорят, что отражение диффузное.

Закон зеркального отражения звука весьма прост: угол падения звуковой волны равен углу отражения.

Когда звуковая волна достигает поверхности раздела, происходит не только отражение, но и преломление звука — проникновение колебаний через поверхность раздела во вторую среду. При этом звук изменяет направление распространения. Поэтому и говорят, что звук преломляется.

Интенсивность звука, отраженного поверхностью раздела и преломленного, то есть прошедшего через нее, зависит от граничащих сред.

Особый интерес представляет тот случай, когда интенсивность отраженного звука равна интенсивности падающего. Это полное отражение. Явление полного отражения можно наблюдать только в том случае, если звук попадает в среду, где скорость его распространения больше. Существование полного отражения приводит к весьма интересному явлению, которое иногда наблюдается в море.

Звук попадает в подводную ловушку — «мышеловку»,



из которой он не имеет возможности выбраться ни вниз, ко дну моря, ни вверх, к свободной поверхности.

И все это происходит из-за полного отражения на верхней и нижней поверхности слоя воды, простирающегося на сотни километров.

Явление это называется сверхдальним распространением звука.

Сверхдальнее распространение происходит благодаря тому, что скорость звука в воде различна на разных глубинах. А в толще моря существует слой, у которого скорость звука постоянна, но она меньше, чем в слоях, расположенных выше и ниже его.

Из такого слоя звук выбраться не может, так как, доходя до верхней его части, он должен переходить в слой, где скорость его должна быть больше, а это значит, что существует возможность полного отражения при падении под некоторым большим углом. После полного отражения от верхней части слоя звук достигает его нижней части и тоже отражается. Так он все дальше и дальше удаляется от источника, испытывая многократно полное отражение, и не выходит из слоя до тех пор, пока его интенсивность из-за поглощения не уменьшится настолько, что он становится неслышимым. Но это произойдет на расстоянии сотен километров от источника, если, разумеется, по дороге слой по каким-либо причинам не разрушится.

В Тихом и Атлантическом океанах наблюдали сверхдальнее распространение на расстояниях более тысячи километров.

Наличие таких слоев весьма благоприятно для подводной сигнализации и затрудняет обнаружение подводных лодок.

Но вернемся к архитектурной акустике, задача которой сводится к подбору наилучшего времени реверберации. Это достигают выбором материала для облицовки и украшения стен, а также соотношением длины, ширины и высоты помещения. Но, кроме этого, особенно важным является поглощение звука в помещении.

Поглощением называют ослабление интенсивности звуковой волны, уменьшение ее энергии.

В стенах квартир и учреждений имеются специальные материалы, увеличивающие поглощение.

Весьма остроумным приемом воспользовались для

увеличения поглощения русские ученые. Внутри стен устроили полости с маленькими отверстиями. Столб воздуха внутри такой полости обладает собственной частотой колебаний.

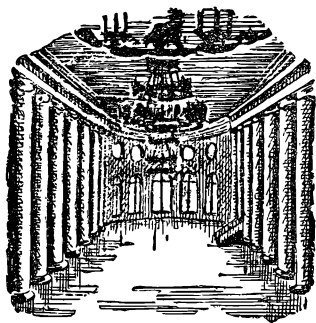
Если на стену, в которой имеются такие полости, падает звуковая волна, частота колебаний которой совпадает с собственной частотой столба воздуха в полости, то появляется резонанс.

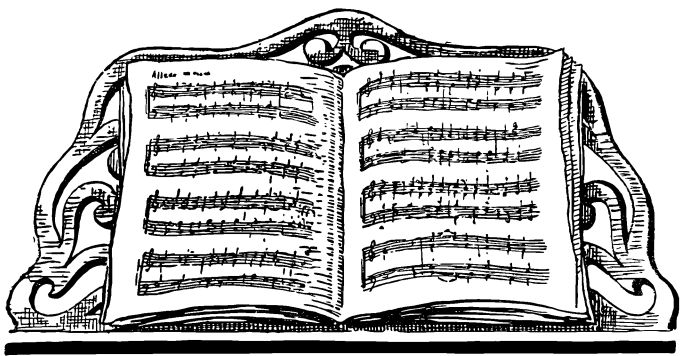
Энергия падающей волны расходуется на поддержание этих колебаний, и благодаря этому отражение от стенки ничтожно.

Такое устройство называют резонансным звукопоглотителем. Впервые разработал его профессор МГУ С. Н. Ржевкин.

Законы отражения звука делают возможным вести изыскания в недрах земли полезных ископаемых, нефти и газа.

Для этого посылают звук в глубину земных недр, и там, где он встречает границу раздела сред, то есть, где залегают пласты ископаемых, происходит отражение. Отраженный сигнал улавливают и подсчитывают глубины залегания полезных ископаемых.





## ПУТЕШЕСТВИЕ ЗВУКОВ

### Азбука звуков

В глубокой древности был широко распространен однострунный музыкальный инструмент — монохорд.

Трудно судить, как велико было искусство игры на монохорде древних, но то, что на одной струне можно с блеском исполнить сложную музыку, продемонстрировал гениальный итальянский скрипач Николо Паганини.

Однажды он выступал на концерте, и у него во время игры последовательно оборвались три струны. Но Паганини не прекратил игры и блестяще продолжал концерт на одной единственной струне, оставшейся на его скрипке. Очевидцы с восторгом описывают его игру.

Монохорд представляет собой доску, по краям которой имеются колки для крепления струны. Две подвижные подставки позволяют легко изменять ее длину. Вращая один из колков, можно натянуть струну сильнее и слабее. При этом, однако, мы не имеем представления о том, с какой силой она натянута. Поэтому вместо того колка, которым натягивают струну, на конце доски помещают легкий блок, через который перебрасывают струну, а к ее концу подвешивают груз определенного веса.

Теперь струна натянута, и ее натяжение определяется весом этого груза.

Если ударить струну посередине между подставками, то она будет совершать колебание, издавая звук определенного тона. Каждый тон, как известно, характеризуется определенным числом колебаний в секунду. Сблизив подставки, на которые опирается струна, так, чтобы расстояние между ними было вдвое меньше, можно обнаружить, что тон звучания заметно повысился. Струна, длина которой вдвое меньше, совершает в секунду вдвое больше колебаний. Если расстояние между подставками составляет одну треть от первоначального, то длина струны равна одной трети, и число колебаний в секунду при этом утроится. Тон звука еще более повысился. Продолжая уменьшать длину струны, обнаружим, что, во сколько раз уменьшается ее длина, во столько раз увеличивается число колебаний в одну секунду, если при этом ее натяжение остается неизменным, а звучание струны вызвано ударом по ее середине.

Оставляя длину струны неизменной, легко обнаружить, что по мере увеличения натяжения число колебаний в секунду также увеличивается.

Если, например, груз увеличить в четыре раза, то частота увеличится вдвое. При увеличении груза в девять раз, частота утроится, а увеличив груз в шестнадцать раз, мы учетверим частоту колебаний струны. Это показывает, что отношение частот колебаний струны равно квадратному корню отношения натягивающих ее грузов.

Если взять другую струну из такого же материала и той же длины, то частота ее колебаний при одинаковом натяжении будет во столько раз больше, во сколько раз она тоньше. Кроме этого, число колебаний в секунду зависит от удельного веса материала струны.

Таким образом, на монохорде мы выяснили, как зависит частота колебаний струны от ее длины, натяжения, толщины и удельного веса.



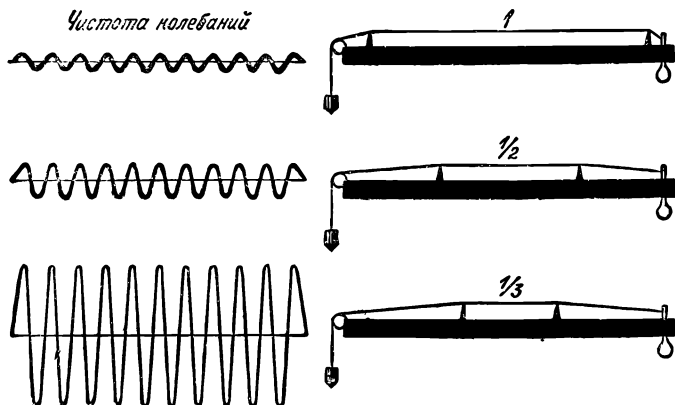


*Монохорд.*

Обратимся теперь к опытам, которые позволят нам уяснить, почему мы можем различать звуки различных струнных музыкальных инструментов, издающих один и тот же тон.

Эти исследования мы опять-таки проведем на монохорде. Натянем струну, выбрав определенное расстояние между подставками, которое определит ее длину. После удара посередине струна придет в колебание как целое. Больше всего отклоняться будет ее середина, в то время как места, которые находятся на подставках, будут покоиться. Струна будет издавать звук определенного тона. Этот тон зависит от ее длины, толщины, силы натяжения и удельного веса материала, из которого она изготовлена.

Если же, удерживая пальцами середину струны, ударить ее посередине одной из образовавшихся половин, то обе половины приходят в колебание, как струны вдвое меньшей длины. Струна при этом издает звук, частота которого вдвое больше основной. Середина всей струны, равно как и ее концы на подставках, при этом покоятся.



*Опыты с монохордом.*

Зато середины половин струны отклоняются на наибольшее расстояние от положения равновесия. Эти точки называют пучностями; их в этом случае две.

Если во время удара удерживать пальцами струну на одной трети ее длины, то струна делится на три части, которые колеблются, как струны втрое меньшей длины, издавая звук, частота которого втрое больше. Узловых точек при этом будет четыре, а пучностей три. Таким образом можно делить струну на любое число частей.

Мы уже говорили, что, кроме основного тона, всегда имеется несколько тонов более высоких частот. Они называются обертонами. Слово «обертон» немецкого происхождения и означает высший тон. Число обертонов определяет тембр звучания, и это позволяет отличать звучание струн одного тона различных музыкальных инструментов, так как струны никогда не звучат одним тоном.

Отношение частот двух различных колебаний называется интервалом. Если это отношение равно  $1:1$ , то такой интервал называют унисон. При отношении частот, равном  $1:2$ , появляется октава; если же оно равно  $2:3$  — квинта, а при отношении частот  $3:4$  — кварта. Наконец, отношение частот  $4:5$  называют большой терцией и  $5:6$  — малой терцией.

Интересно звучат два издаваемых одновременно звука, частоты которых мало отличаются друг от друга. Их совместное звучание создает своеобразное звуковое восприятие — завывание, которое называют биением. Это явление заключается в периодическом усилении и ослаблении совместного звучания.

Количество усилений слышимого звука в одну секунду называют частотой биений. При малой частоте биений, например когда число их не превосходит четырех, они не вредны для звукового восприятия. Если они достигают трех десятков в секунду и в особенности тридцати трех, звуковое ощущение воспринимается особенно болезненно. Но, однако, при большем их числе влияние биений на звуковое ощущение постепенно исчезает.

При совместном звучании двух струн их обертоны могут давать неприятные биения — диссонанс. Если обертоны — одинаковые простые тона, биений не наблюдается. Такое созвучие называется консонансом.

Объяснение консонанса и диссонанса было дано не-

мецким физиком-физиологом Гельмгольцем в книге «Учение о слуховых ощущениях».

Изучение интервалов тонов, которые дают лучшие консонансы, привело к образованию созвучий, где отношение частот строго определено. Такое созвучие называют гаммой.

Мажорная, или диатоническая, гамма включает тона, частоты которых относятся, как:

$$1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8}$$

Звук, частота которого равна 65 герцам, называют «до» первой октавы. Правда, в различных странах эти числа немногим отличаются от 65.

Примем «до» третьей октавы (256 герц) основным и, согласно диатонической гамме, найдем остальные шесть тонов. Числа колебаний шести других тонов гаммы будут: 288; 320; 341,33... 384; 426,66; 480 герц. Этим звукам соответственно присвоено название: «ре», «ми», «фа», «соль», «ля», «си».

Указанные числа частот колебаний весьма приближены, ибо «до» первой октавы взято не совсем точно, а следовательно, не совсем точно и «до» третьей октавы, которое положено в основу построения гаммы. Уточнив значение «до» первой октавы, следует соответственно пересчитать и другие тона.

До недавнего времени тон «ля» третьей октавы был принят равным 435 герцам, этому значению «ля» третьей октавы соответствует «до» первой октавы — 65,25 герца.

Теперь принято считать за «ля» третьей октавы звук частоты 440 герц. Его можно систематически слышать по радио, когда подают сигналы настройки музыкальных инструментов.

Различие в частотах, выбранных для «до» первой октавы, не является особо важным, так как для музыкальных целей несущественно абсолютное значение частоты, важно отношение частот, то есть величина интервала. Определить точно ноту могут только люди с абсолютным слухом; все остальные, включая даже известных музыкантов, умеют только сравнивать звуки между собой. Вот для чего перед началом пения вы обязательно слышите аккомпанемент. Он необходим певцу, чтобы настроиться на нужную ноту.

Основы учения о соотношениях частот музыкальных звуков были заложены в глубокой древности великим греком Пифагором, который жил в VI веке до нашей эры. Каждому тону Пифагор дал характеризующее его число. Считая числа основой всех закономерностей в явлениях природы, Пифагор искал гармонии чисел, которая должна была определить гармонию звуков.

Предание сохранило нам историю того, как Пифагор открыл эту гармонию. Правда, скажем сразу, достоверность этого рассказа весьма сомнительна.

Однажды, проходя мимо кузницы, где несколько рабочих ковали железо, Пифагор заметил, что молоты издавали гармонические тона, именно: октаву, квинту и кварту. Войдя в кузницу, он убедился, что различие тонов зависело от относительного веса молотов, именно: самый легкий равнялся  $\frac{1}{2}$ , следующий —  $\frac{2}{3}$  и, наконец, последний —  $\frac{3}{4}$  веса наиболее тяжелого молота.

По возвращении домой Пифагор повесил четыре шнура равной толщины и привязал к ним три груза одинаковых весовых отношений с молотами кузнецов. Шнуры при ударах издавали звуки.





Интервалы звуков, получаемые при этом, оказались такими же, как и звуков молотов в кузнице. Пифагор мог благодаря этому выразить гармонические интервалы звуков отношением чисел.

То, что в те времена умели это делать, не подлежит сомнению, так как у пифагорийцев гармонические отношения играли выдающуюся роль, но содержание рассказа неверно.

Во-первых, наковальня, как и колокол, всегда дает один и тот же, основной, тон при ударах различными молотами.

Во-вторых, струны издают указанные тона, когда имеется зависимость между их длинами, а у Пифагора речь шла о грузах, натягивающих струны.

Но, по мнению некоторых ученых, соотношение между длинами струн и интервалами тонов отыскивали именно пифагорийцы.

Интересно заметить, что терцию Пифагор отвергал, не считая ее звучание приятным именно из-за сложного отношения чисел (4 : 5 или 5 : 6).

В глубокой древности звуки мелодий записывали буквами. В средние века перешли на особые значки — невмы, которые приблизительно указывали повышение и понижение мелодии. В X веке для уточнения высоты звука невмы стали писать на линейках, точно определяющих высоту звука, то есть тон. Постепенное усовершенствование привело к современной записи звуков. Этим мы обязаны Гвидо Аретинскому, который изобрел систему линий, а тона назвал именами, и Жану де Меру, который усовершенствовал ноты тем, что ввел головки для обозначения их продолжительности.

Основой современной записи звука являются пять горизонтальных линеек, которые называют нотными. Кроме пяти основных линеек, существуют добавочные —



*Пример музыкальной записи.*

пять вверху и пять внизу. Что означают значки на линейках, каким нотам они соответствуют, указывает ключ, который ставят в начале пяти линеек. Чаще всего встречаются два ключа: ключ «соль» — скрипичный и ключ «фа» — басовый. Основные линейки разбиты вертикальными линиями на части — так называемые такты. Они определяют длительность звучания. В начале пяти линеек мы видим ключ «соль», тогда внизу на первой добавочной линейке располагается значок, имеющий форму сплюснутого круга; это звук «до» третьей октавы, звучание которого должно длиться на протяжении одного такта.



*Майкл Фарадей.*

Если вместо этого значка стоит другой — такой же сплюснутый круг, но имеющий с одной стороны вертикальную черточку, то звучание звука «до» третьей октавы должно длиться в течение половины такта, а другая половина может быть предоставлена другим звукам, либо ему же, но вновь повторенному. Когда необходимо создать звучание в одну четверть такта, то круг зачерняют. Время звучания можно уменьшить еще вдвое, то есть свести его к одной восьмой такта, для чего вверху палочки добавляют опущенный вниз хвостик. Добавка еще одного хвостика означает, что звучание длится одну шестнадцатую такта. И, наконец, если знак содержит три хвостика, звук должен звучать всего одну тридцать вторую долю времени целого такта.

Поэтому значок звука, который должен длиться такт, называют целой нотой, а остальные, соответственно, половиной, одной четвертой, одной восьмой, одной шестнадцатой и одной тридцать второй ноты. Длительность звука в такте определена формой ноты, а положение ноты на линейках указывает тон звука.

Если значок помещен между добавочной и первой основной линейкой, это означает звук «ре» третьей октавы.

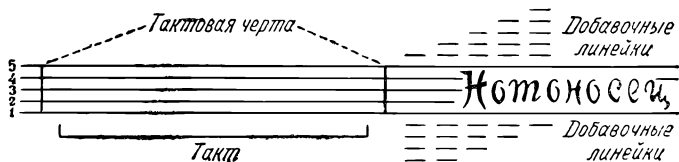
Нота на первой линейке означает звук «ми», между первой и второй линейками — «фа», на второй — «соль»,



Скрипичный ключ  
"соля"



Басовый ключ  
"фа"



○ Целая нота

◐ Половинная

◑ Четверть

◒ Восьмая

◓ Шестнадцатая

— Целая пауза

— Половинная

⌋ Четверть

⌋ Восьмая

⌋ Шестнадцатая

♯ Диез - повышение звука на полтона

♭ Бемоль - понижение звука на полтона

Нотная грамота.

а между второй и третьей — «ля». На третьей линейке располагается звук «си». Если значок стоит между третьей и четвертой линейками, то начинается следующая октава, то есть звук «до» четвертой октавы. Далее все идет в той же последовательности.

Много других значков существует в нотной записи звуков. Одни указывают на то, как их следует воспроизводить — быстро или отрывисто, громко или тихо. Другие регулируют паузы — промежутки между отдельными звуками. И, наконец, существуют значки, которые указывают на необходимость усилить звучание последующих звуков или, наоборот, воспроизводить их всё тише и тише.

На рисунке приведена таблица всех знаков, употреб-

ляемых в нотной записи, а на стр. 80 — пример музыкальной записи.

Нотная запись позволяет записать и надолго сохранить мелодию.

Записанную мелодию всегда можно воспроизвести. Для этого необходимы инструменты и исполнители, умеющие читать нотную запись.

Музыканты читают ее и мысленно воспроизводят звуки, соответствующие значкам нотной записи. Так снова рождается мелодия, записанная когда-то далеким, зачастую незнакомым композитором, говорящим на чужом языке. А язык мелодий и звуков одинаков для всех стран и всех народов.

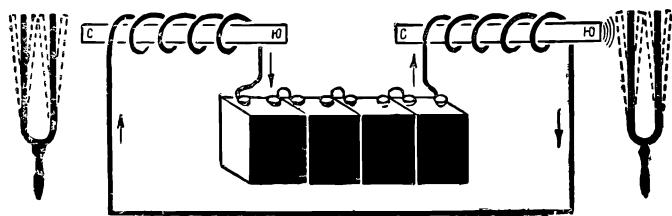
## Звук путешествует

Первое путешествие звука началось в XIX веке в лаборатории американского физика Белла. Он во что бы то ни стало решил отправить звук путешествовать по проводам. Скучно было телеграфистам расшифровывать длинные бумажные ленты точек и тире азбуки Морзе, перебрасываясь фразами, не слыша голоса собеседника.

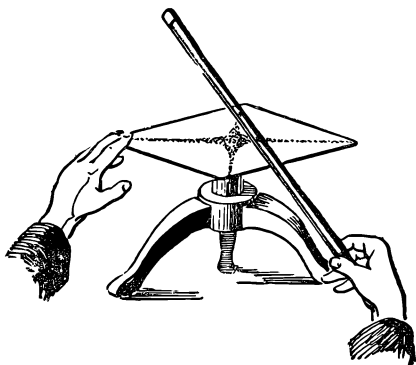
Прежде чем отправить звук путешествовать, Белл тщательно подбирал ему надежных помощников.

Ими оказались: явление электромагнитной индукции и результаты опытов немецкого физика Хладни. Познаксимся с ними поближе.

Явление электромагнитной индукции, открытое английским физиком Фарадеем в 1831 году, состоит в том, что в замкнутом проводнике, к которому подносят магнит, возникает электрический ток. Ток в катушке будет



*Опыты Белла.*



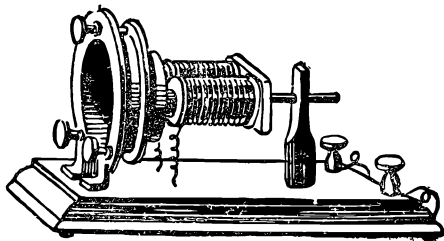
*Опыт Хладни.*

тем больше, чем быстрее мы подносим к ней магнит. Если магнит удалять, то в катушке тоже возникает ток, но противоположного направления.

И вот Белл намотал проволоку на намагниченный стержень и, замкнув концы проволоки, обнаружил, что если к одному из его концов поднести звуча-

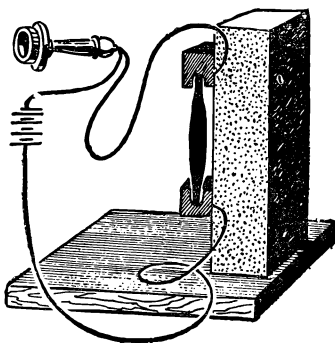
щий камертон, то в катушке возникает ток переменного направления. Если теперь концы проволоки соединить с концами другой такой же катушки, намотанной на стержне, перед которым поставить такой же камертон, то ножки второго камертона придут в движение. Он будет звучать. Переменный ток, протекая по второй катушке, намагничивает находящийся внутри нее стержень. А тот в такт изменению тока то сильнее, то слабее притягивает находящуюся вблизи него ножку камертона, заставляя ее совершать колебания. Теперь надо было подумать о передаче человеческой речи.

Немецкий физик Хладни изучал звучание колеблющихся пластин. Он приводил их в колебательное движение с помощью обычного смычка, того самого, который вы часто видите в руках скрипачей. Хладни интересовался, каким образом колеблются различные участки пластин. Для этого он изучал затейливые узоры, образованные посыпанным на пластины песком. Для одинаковых тонов эти узоры всегда повторялись. Это означало, что пластина колеблется каждый раз совер-



*«Передаватель» Белла.*

шенно одинаково. Повторяя опыты Хладни, Белл заметил, что пластины отзываются и на звук человеческого голоса. А это значит, что пластина колеблется под действием звуковой волны человеческой речи. Тогда Белл выбрал пластинки соответствующей толщины и расположил их вместо камертона.

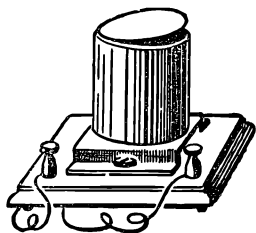


*Микрофон Юза.*

Под действием звука человеческого голоса одна из таких пластин приходила в колебательное движение, создавая в катушке импульсы электрического тока. Эти импульсы передавались в другую катушку. При этом стержень, на который она была намотана, перемагничивался. Расположенная перед ним вторая пластина пришла в движение и в точности воспроизвела звук первой, то есть человеческую речь!

Так звук стал путешественником. Изобретенное Беллом устройство названо телефоном. Слово телефон означает «видимый звук». Такое название устройству Белла дано потому, что звуковые колебания, воспринятые пластинкой, становились видимыми, если ее посыпать песком, как делал Хладни.

Легко понять, что принципиальная конструкция, позволяющая передавать речь на расстояние, так остроумно решенная Беллом, в то время обладала большими техническими недостатками.



*«Приемник» Белла.*

Первоначально два лица, соединенные телефоном, говорили по очереди. Один говорил, а другой слушал. Затем говорил другой, а первый слушал, используя для этого одно и то же устройство — телефон. Устранил это неудобство микрофон изобретателя Юза. Микро означает «малый», а фон — «звук». Устройство Юза улавливало самые малые, совсем незначительные звуки и передавало по телефону, делая их хорошо слышимыми.

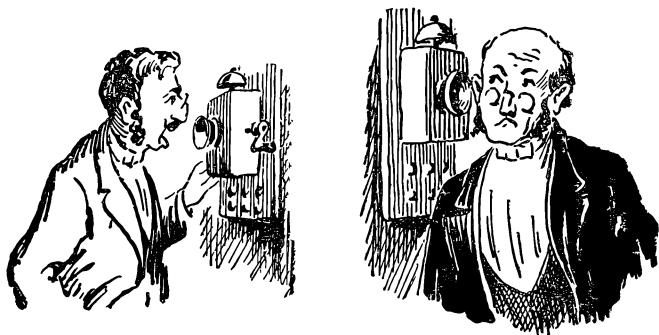
Микрофон Юза представлял собой две угольные чашечки, внутрь которых был помещен стерженек из угля. Малейшее сотрясение вызывало дрожание этого стерженька. Чашечки соединялись с полюсами батареи. Сила тока в этой цепи из-за дрожания стержня менялась, ибо при этом менялось сопротивление из-за переменных контактов между стержнем и чашечками. Изменение силы тока, разумеется, происходило в такт дрожанию стержня. А его колебания легко возбуждались звуками человеческой речи. Объединением микрофона и пластинки телефона была создана телефонная трубка. Со временем угольный стерженек был заменен угольным порошком, сопротивление которого очень резко менялось с изменением величины давления.

В настоящее время существует несколько типов микрофонов. Но они похожи на первый микрофон Юза.

Спустя четверть века после изобретения телефона немецкий физик Герц получил электромагнитные волны, существование которых предсказал великий английский ученый Максвелл.

Велико было торжество научной теории. Но еще значительнее стала победа, когда электромагнитные волны заставили служить человеку.

Одно из величайших открытий в этой области было сделано русским физиком Александром Степановичем Поповым. Изучение электромагнитных волн Герца, как их тогда называли, привело Попова к мысли, что благо-



*Так когда-то разговаривали по телефону.*

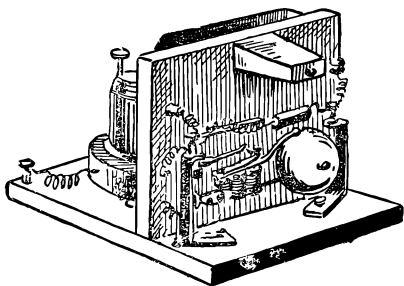
даря быстрому распространению в пространстве эти волны можно использовать для передачи сигналов. И он создал первые в мире передатчик и приемник электромагнитных колебаний — радиоволн. Вначале это были сигналы азбуки Морзе: короткие — точки, длинные — тире. Но как быть с музыкой и человеческой речью? Звуковые колебания можно превратить в колебания электрического тока, но передать их без проводов нельзя. Дело в том, что электромагнитные колебания можно излучать в пространство лишь в том случае, когда их частота будет значительно больше, чем верхний предел числа слышимых колебаний.



*Александр Степанович  
Попов.*

Эта трудность была устранена весьма остроумным и в то же время простым способом.

Электрические колебания высокочастотного передатчика сложили с электрическими колебаниями, которые возбуждает звук, и вот эту смесь стали излучать в пространство. Звук как бы оседлал электромагнитную волну. Добравшись на ней до приемника, который отделяет электрические колебания звуковой частоты от электрических колебаний высокой, он поступает в телефон, заставляя пластинку этого аппарата совершать звуковые колебания и излучать звук в окружающее пространство. Так звук садится на «коня», называемого несущей частотой, и мчится на нем до приемника. А там он спрыгивает и двигается самостоятельно, давая нам возможность услышать далекую музыку.



*Приемник Попова.*



## Подарок Эдисона

В Москве, в музее Льва Николаевича Толстого, хранится интересный подарок, который был ему сделан знаменитым изобретателем Томасом Эдисоном.

Томас Эдисон прислал в подарок Льву Николаевичу Толстому слепок со звука, или, как в то время говорили, говорящее письмо.

Каким же образом удалось жителю Америки прислать через океан в далекую от него Россию запись своего голоса?

Звук издают тела, колеблющиеся в какой-либо среде, например в воздухе. Но если на пути распространения звука поместить тонкую пластинку, то она под действием колебания окружающей среды сама приходит в движение. Это явление и было использовано Томасом Эдисоном для записи звука.

Он укрепил на такой пластинке иглу из сапфира; игла едва касалась небольшого цилиндра. При вращении цилиндра она слегка царапала его поверхность, покрытую листом олова. Глубина царапины при этом была одинаковой. Но если на пластинку падала звуковая волна, след иглы становился неравномерным, так как под действием звука пластинка вместе с иглой колебалась и прижимала иглу к поверхности цилиндра с различной силой. Для того чтобы после одного оборота игла не попадала снова в проделанную ею борозду, цилиндр при вращении смещался по оси. И борозда, которую царапала игла на поверхности цилиндра, извивалась спиралью.

Таким образом Эдисону удалось записать речь в виде царапин на поверхности цилиндра. Для ее воспроизведения достаточно было поместить такую же иглу в начале борозды. При вращении цилиндра игла начинает скользить вдоль борозды, все время подпрыгивая, и заставляет пластинку, к которой она прикреплена, колебаться. А колеблющаяся пластинка прекрасно воспроизводила записанную ранее речь.

Этот прибор был назван фонографом. Его вскоре усовершенствовали. Оловянную поверхность цилиндра заменили восковой, что значительно удешевило прибор.

Фонограф Эдисона по сути дела был усовершенствованием такого же устройства для записи звука, изобретенного в 1859 году англичанином Скоттом.

Прибор Скотта назывался фонографом. В нем звук записывался на закопченную бумагу иглой, соединенной с пластинкой - мембраной.

Вся беда фонографа была в том, что воспроизвести записанный звук было совершенно невозможно. Запись по сути дела пропадала. Но вскоре прибор был усовершенствован, и вращающийся цилиндр за-

менен пластинкой, на которую заранее были нанесены борозды одинаковой глубины. Эти борозды образовали сворачивающуюся спираль.

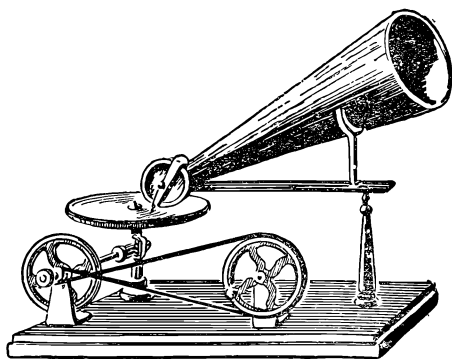
На приготовленной таким образом восковой пластинке производилась запись резцом. Но колебания резца происходили не по глубине, а поперек борозды. Этот прибор изобрел в 1894 году немецкий физик Берлинер. Он был назван граммофоном.

Граммофон имел огромное преимущество перед фонографом Эдисона, так как была открыта возможность копировать звук, записанный на диск.

В настоящее время запись делают на дисках из мягкого материала. Затем пластинка копируется на металл, а после этого делаются ее оттиски. Таким образом можно получить много экземпляров одной и той же записи звуков и разослать «живые письма» во все части света.

Такое письмо и подарил Эдисон Льву Николаевичу Толстому. Звук по почте был перевезен через океан в Россию. Вместе с «письмом» Толстой получил фонограф и запас восковых валиков для записи звуков. Льву Николаевичу подарок очень понравился. На одном из валиков были записаны его слова, обращенные к ученикам-школьникам.

И теперь в музее имени великого писателя можно услышать его живую речь.



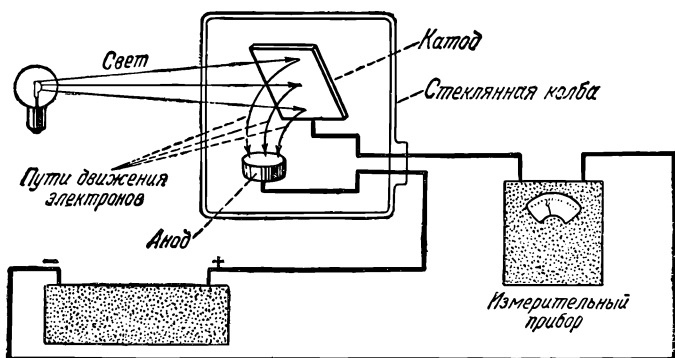
*Первый граммофон.*

## Заря звукового кино

«Великий немой» — немое кино — не долго удовлетворял людей. Люди на экране во всем напоминали живых. Но они не умели говорить. И ученые всех стран начали лихорадочно искать способы, как научить людей на экране говорить. Для этого было использовано несколько совершенно различных по своей природе явлений.

Вы все, без сомнения, хорошо знакомы с фотографией. Рассматривая фотопленку, легко заметить, что резких границ между темными и светлыми местами нет. Вместо них существует плавный переход. Это значит, что светочувствительная пленка способна различать слабый и сильный свет. На это обстоятельство и обратили внимание, когда решили осуществить запись звука при помощи света. Для этого сначала необходимо было превратить звуковые колебания в колебания электрического тока, питающего лампочку. В цепь этой лампочки включили микрофон.

Перед лампой двигалась фотографическая пленка. После обработки пленки на ней оказалась светлая полоса различной прозрачности. Где больше упало света, полоса была темней, а там, где света упало меньше, — светлей. Одним словом, так получают негатив. Ведь прозрачность пленки обратна силе звука — чем сильнее звук, тем света будет больше, а на пленке эта часть бу-



Принцип работы фотоэлемента.

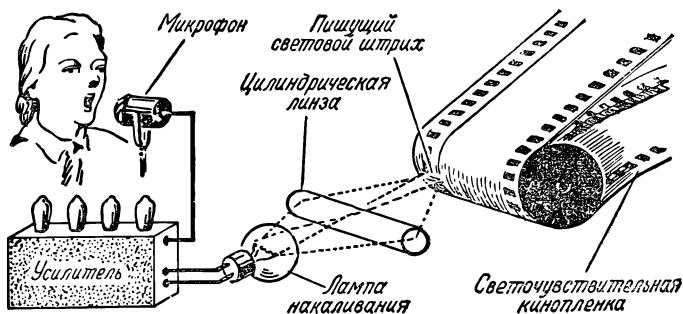


Схема записи звука на пленку.

дет затемненной. Значит, надо пленку отпечатать. Эта новая позитивная пленка и будет фотографией звука. Так записывается звук на кинопленку.

Теперь познакомимся с тем, каким образом, имея фотографию звука, осуществить его воспроизведение. Освещая эту фотографию обычным светом, можно получить свет мигающий. Для этого достаточно пропускать узкий пучок света от лампочки постоянной яркости через движущуюся пленку. Так как полоса различной прозрачности, то прошедший свет будет то ярче, то тусклее. Но как теперь этот мигающий свет, колебания яркости которого совпадают с колебанием мембраны микрофона, превратить в звук?

Знаменитый немецкий физик Генрих Герц открыл интересное явление, названное фотоэффектом.

Это явление заключалось в том, что, как оказалось, световые лучи могут выбивать из различных тел заряженные частицы — электроны. Вы, наверное, слышали это слово — фотоэлемент. Так называется прибор, использующий это явление.

Простейший фотоэлемент представляет собой стеклянный сосуд, внутри которого расположены две пластинки. Одна из них, которая освещается светом, соединяется с отрицательным полюсом электрической батареи и поэтому заряжена отрицательно. Другая пластина соединяется с положительным полюсом батареи.

Под действием света с отрицательно заряженной пластинки вылетают электроны, которые тотчас притягиваются другой, положительно заряженной пластинкой. Та-

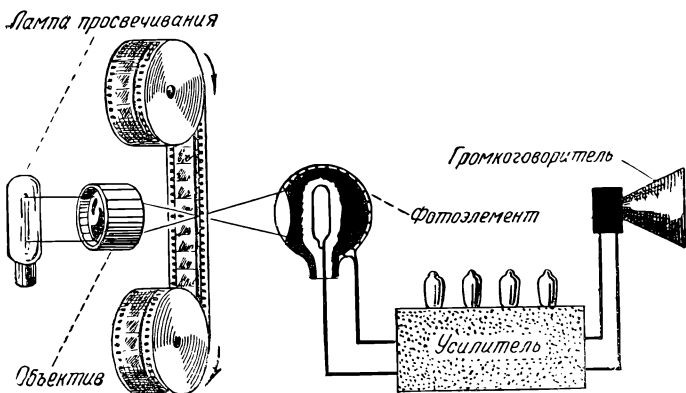


Схема воспроизведения звука.

ким образом, в сосуде появляется направленное движение зарядов — электрический ток. Сила тока в цепи изменяется в такт с изменением количества света, падающего на отрицательно заряженную пластинку.

Сейчас созданы фотоэлементы, весьма чувствительные к ничтожным количествам света. Получаемый при этом электрический ток усиливают специальными усилителями.

Вот, имея в распоряжении такой фотоэлемент, можно заставить зазвучать фотографический снимок звука. На киноплёнке эта запись называется звуковой дорожкой. Когда плёнка движется, узкий пучок света просвечивает звуковую дорожку, и фототок будет точно следовать за всеми изменениями интенсивности света.

После усиления фотоэлектрический ток проходит по обмотке электромагнита, который, притягивая с различной силой мембрану, приводит ее в колебание — заставляет звучать.

Так воспроизводится звук, записанный на фотоплёнку.

Током звуковой частоты неудобно питать электрическую лампочку, свет которой не успевает меняться вслед за изменением тока из-за того, что нить накала не успевает остывать (тепловая инерция). Для этой цели удобнее всего использовать так называемый керр-эффekt.

Сущность этого явления слишком сложна, и мы не будем о нем рассказывать. Скажем только, что в этом случае никакой инерции нет — свет моментально изменяется вслед за изменением тока микрофона.

Другой способ световой записи звука на кинолентку называют «поперечной записью». В этом случае интенсивность света, который падает на пленку, остается все время одинаковой, но световой пучок в виде узкой ленточки во время движения пленки освещает ее неодинаково по ширине.

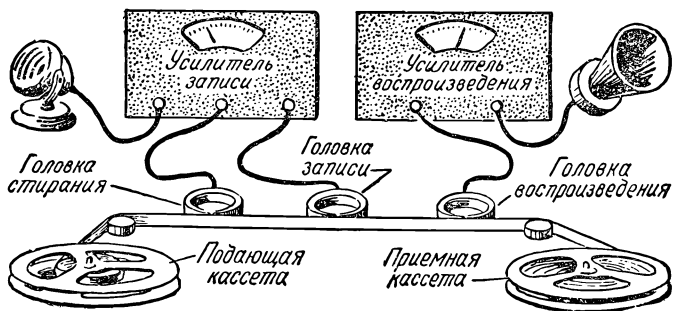
Для этого световой зайчик должен все время бегать от одного края к другому, в такт колебаниям тока звуковой частоты, создаваемого в микрофоне.

Но это еще не все.

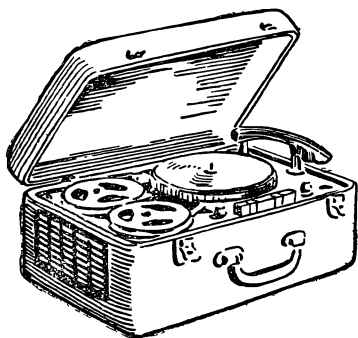
Сравнительно недавно удалось получить магнитную фотографию звука на проволоке.

Тут воспользовались явлениями, которые нам уже хорошо знакомы. Мы знаем, что звуковые колебания воздуха мембрана микрофона преобразует в механические. Благодаря этому она изменяет свое положение относительно магнита. И вот в обмотке возникает электрический ток звуковой частоты. Этот ток можно передать по проводам, как это сделал в свое время Белл, а затем заставить другую мембрану совершать колебания, чтобы воспроизвести звук.

Но с другой стороны, если этот ток будет проходить через обмотку другого магнита, вблизи которого движется проволока, то ее различные участки будут намагничиваться то сильнее, то слабее, в зависимости от силы



Устройство магнитофона.



*Портативный магнитофон.*

тока, протекающего через обмотку магнита. После этого каждый участок проволоки долгое время остается намагниченным. Таким образом, звуковые колебания вначале преобразуются в колебания силы тока, а затем в колебания намагниченности различных участков проволоки. Так звук записали на проволоку. Чтобы воспроизвести его, необходимо эту проволоку вновь переме-

шать с прежней скоростью вблизи обмотки электромагнита. При этом в обмотке магнита будет возникать ток, сила которого все время меняется. После усиления этот ток проходит по обмотке другого магнита, который заставляет свою мембрану совершать колебания.

И мы услышим записанный на магнитной проволоке звук. Легко усмотреть преимущество магнитной записи звука. Когда запись сделана светом, требуется проявить и отпечатать фотопленку. Только после этого возможно воспроизведение звука. А магнитная запись этого не требует: звук, записанный на проволоку, может быть тотчас воспроизведен и затем «стерт».

Стирается записанный звук весьма просто. Для этого достаточно проволоку, на которой он записан, протягивать мимо магнита, по обмотке которого течет быстросменный ток. Проволока при этом размагничивается, а следы записанного на ней звука исчезают бесследно.

И проволока снова пригодна для записи звука. После технического усовершенствования магнитного метода был создан замечательный прибор — магнитофон. Он и записывает звук и воспроизводит его. Вместо проволоки в приборе используется специальная лента, изготовленная из пластической массы. Поверхность ленты покрыта мелкозернистым порошком, магнитные свойства которого намного выше, чем у стальной проволоки.

Лента, на которой записан звук, представляет собой не что иное, как магнитное письмо. Читать это письмо при помощи магнитофона можно много раз. Однако не следует забывать, что скорость движения ленты при вос-

произведении должна обязательно быть такой же, как и при записи.

Магнитные письма на проволоке широко использовали во время Великой Отечественной войны для передачи приказов и донесений в целях сохранения военной тайны.

Магнитная запись применяется в радиовещании. Все, что нужно передать по радио, предварительно записывают на пленку, прослушивают и спокойно устраняют всевозможные недостатки. Почти все радиопередачи, которые вы слышите, предварительно записаны на пленку и отрегулированы по времени.

Так люди научились записывать звук.

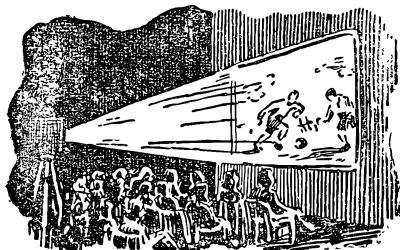
\* \* \*

Ну вот мы и закончили нашу небольшую экскурсию в такой знакомый и в то же время такой загадочный мир звуков.

Действительно, мы сделали много открытий, познакомились с замечательными приборами, удивительными явлениями природы, с работой ученых в области акустики.

И столько неожиданного открылось нам в самых обычных, окружающих нас вещах. Воздух оказался упругим, летучая мышь — хитрым современным аппаратом, рыбы — поющими.

Но книга жизни неизмеримо богаче любой напечатанной книги. Надо только научиться читать ее.





# СО Д Е Р Ж А Н И Е

## Загадка атмосферы

Упрямый колодец . . . . .	3
Атмосферное давление . . . . .	6
Странный бургомистр . . . . .	12

## Как звучал бы Царь-колокол

Обыкновенный маятник . . . . .	19
Звуковые волны . . . . .	24
Скорость звука . . . . .	26
Зачем понадобился рупор . . . . .	28
Как устроено ухо . . . . .	33
Глухой музыкант . . . . .	35
Как бы звучал Царь-колокол . . . . .	37

## Тайна неслышимых звуков

Поющие кристаллы . . . . .	46
Мастер на все руки . . . . .	50
«Голос моря» . . . . .	56

## Секрет летучей мыши

Ночная путешественница . . . . .	62
Архитектурная акустика . . . . .	69

## Путешествие звуков

Азбука звуков . . . . .	74
Звук путешествует . . . . .	83
Подарок Эдисона . . . . .	88
Заря звукового кино . . . . .	90

Рисунки Е. Трунова

Для средней школы

*Коробко-Стефанов Александр Александрович*

**ЗВУК ЗА РАБОТОЙ**

Ответственные редакторы **Б. И. Смагин** и **Г. В. Левенштейн**. Художественный редактор **М. Д. Суховцева**. Технический редактор **З. В. Тишина**.

Корректоры **В. К. Мирингоф** и **Р. С. Мишелевич**.

Сдано в набор 20/IX 1957 г. Подписано к печати 24/XII 1957 г. Формат 34×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub> — 6 печ. л. = 4,93 усл. печ. л. (5,22 уч.-изд. л.). Тираж 100 000 экз.

Заказ № 2931. Цена 2 р 55 к. А11183.  
Детгиз. Москва, М. Черкасский пер., 1.

---

Фабрика детской книги Детгиза. Москва, Сушевский вал, 49.



Цена 2 р. 55 к.