



**РАБОЧАЯ
ШКОЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА**

Ф. Н. КРАСИКОВ

У Х О



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

РАБОЧАЯ ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

для школ II ступени

1) Серия по ФИЗИКЕ

- Аонапо. — Своими руками. Стр. 128. Ц. 40 к.
Галанин Д. — Телефон, его история и его будущее. (Печатается.)
Горячкин Е. Н. — Радио в школе. Работы по радио лабораторного и демонстрационного типа. Часть I. Стр. 144. Ц. 1 р. 10 к.
Часть II. Стр. 176. Ц. 1 р. 25 к.
Григорьев С. — Паровоз. Стр. 76 + 1 табл. Ц. 50 к.
Григорьев С. — Швейная машина. Стр. 80. Ц. 40 к.
Лермантов В. — О том, как машины работают и как рассчитывают их действия. Стр. 256. Ц. 1 р. 20 к.
Пиотровский М. — Глаз как физический прибор. Стр. 110. Ц. 80 к.
Фридман В. — Электрический трамвай. Стр. 151. Ц. 70 к.
Фридман В. — Электрическое освещение. Стр. 120. Ц. 55 к.

2) Серия по ФИЗИКЕ

Под общей редакцией А. Бачинского

- Бачинский А. — Физико-технические таблицы. Стр. 128. Ц. 1 р.
Виноградов В. — Физические принципы устройства приборов отопления. Стр. 71. Ц. 20 к.
Горячкин Е. Н. — Как рассчитать и сделать электрическую проводку. Стр. 104. Ц. 70 к.
Ирисов А. С. — Звук и музыка. Стр. 140. Ц. 80 к.
Каменщиков Т. — Паровые машины, паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания. Стр. 88. Ц. 70 к.
Конашинский Д. и Халезов Б. — Что такое электрификация. Стр. 76. Ц. 65 к.
Сахаров Д. — Физические основы устройства трамвая. Стр. 71. Ц. 70 к.

Серия по МЕТЕОРОЛОГИИ

Под общей редакцией С. Н. Жаркова

- Гэмфриз В. — Народные приметы и парадоксы. Перев. с англ. Стр. 78. Ц. 45 к.
Жарков С. и др. — Ветер и его практические применения. Стр. 88. Ц. 60 к.

Серия по АСТРОНОМИИ

Под общей редакцией М. Е. Набокова

- Иванов Н. И. — Наблюдения солнца. Стр. 80. Ц. 50 к.
Набоков М. — Астрономические наблюдения с биноклем. Стр. 79. Ц. 60 к.
Смирнова М. — Служба точного времени. Стр. 72. Ц. 50 к.

РАБОЧАЯ ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

Ф. Н. КРАСИКОВ

У Х О

ДОПУЩЕНО НАУЧНО - ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ
СЕКЦИЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧЕНОГО
СОВЕТА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1928 ЛЕНИНГРАД

У. 28. Гиз № 26037/Л.
Ленинградский Областлит № 9843
Тираж: 3000. 4¹/₄ л.

1. ОРГАНЫ ЧУВСТВ, КАК СИГНАЛЬНЫЕ АППАРАТЫ.

Связь нашей центральной нервной системы с внешним миром поддерживается при помощи органов чувств—осязания, вкуса, обоняния, слуха и зрения. Органы чувств имеют разное строение, но в состав каждого из них входят специальные чувствительные клетки, способные раздражаться внешними воздействиями и передавать эти раздражения по особым нервам в мозг. Внешние воздействия бывают чисто механические: например, прикосновение к коже какого-нибудь предмета вызывает осязательное впечатление;¹ частые сотрясения, передаваемые через аппарат уха, вызывают ощущение звука. Ощущения вкусовые и обонятельные вызываются химическими раздражителями. Наконец, некоторые сорта лучей вызывают особые ощущения — з р и т е л ь н ы е.

А так как человек или животное со всех сторон

¹ Разновидностью осязательного чувства является чувство термическое — тепла и холода и чувство мускульное — ощущение степени натяжения наших мышц. Мышечное чувство позволяет нам, например, определить, хотя бы приблизительно, вес какого-нибудь предмета, подержав его в руке. Оно же позволяет нам регулировать силу движения мышц. Например, держа в руках тонкий стакан, мы сжимаем его не слишком сильно (иначе он будет раздавлен), но и не слишком слабо (иначе он выпадет из рук).

окружены воздействиями всякого рода и одарены способностью двигаться, то, получая уведомление со стороны своих органов чувств, они соответственным образом ориентируются среди окружающей обстановки, руководясь при этом полученным опытом.

Опыт этот начинается с самого раннего детства. Маленький ребенок, сидящий около зажженной свечи, тянется руками к пламени, но, коснувшись его рукой, тотчас же ее отдергивает: ощущение сильного нагревания кожи, переходящее в ощущение сильной боли, вызывает непроизвольное сокращение мышц — и рука вовремя отдергивается. Одновременно с этим в мозгу ребенка запечатлевается и зрительный образ пламени свечи и с этим образом связывается некоторое предостережение. Наученный опытом, ребенок второй раз не потянется к пламени: он будет избегать соприкосновения с ним, руководясь при этом также и чувством зрения.

Наши органы чувств представляют, таким образом, сигнальные аппараты, служащие целям самосохранения организма и его ориентировки.

Рассмотрим несколько примеров такой сигнализации. Представим, что кошка крадется в полной темноте, направляясь на слабый звук скребущей невдалеке мыши. Кстати, вопреки общераспространенному мнению, кошка в полной темноте ничего не видит. Она руководится осязанием и слухом. Прекрасным органом осязания для нее являются усы — длинные жесткие волосы, при основании которых находятся чувствительные осязательные клетки. Если конец волоса прикасается к какому-нибудь предмету, то, слегка отгибаясь, волос надавливает основанием на осязательную клетку — и мозг кошки получает уведомление, сигнал, о том, что около ее головы имеется какой-то предмет, и она от-

клоняет голову соответствующим образом, чтобы не наткнуться на этот предмет. Усы в темноте оказывают кошке ту же услугу, как палочка слепому, когда он идет и постукивает ею перед собою, чтобы убедиться, что на пути нет препятствий. Таким образом, усы помогают кошке ползти совершенно бесшумно, не задевая и не опрокидывая встречных предметов. Затем, она ориентируется при помощи тонкого слуха. Подвижные ушные раковины помогают ей точнее определить, откуда исходит слабый звук, и, наконец, она уверенно в темноте бросается на мышь. До какой степени этот орган осязания — усы — важен для кошки, показывает тот факт, что кошки перестают ловить мышей, если у них остричь усы; движения их тогда становятся какими-то неуверенными.

Собака, в противоположность кошке, полагается при поисках не на осязание, а на свое удивительное чутье, соединенное, как у кошки, с тонким слухом. Здесь сигнальным, уведомляющим органом является орган обоняния.

У животных, вообще, обоняние играет более важную роль, чем у человека. Про насекомых, например, про некоторых бабочек, известно, что самцы отыскивают самок издали, по запаху; органом обоняния являются у них разветвленные сяжки.

Сигнализация органов чувств ежеминутно служит человеку. Например, вы едите костлявую рыбу. Тонкое осязание языка и полости рта помогают вам при разжевывании судить о нахождении во рту острой и твердой кости — хотя бы она была и мелкая — во время извлечь ее и тем избежать опасности подавиться. Вы идете задумавшись через улицу. Окрик извозчика или звонок трамвая во-время предостерегает вас от столкновения. Наши глаза постоянно сигнализируют нам о

бесчисленных вещах. Всякий знает, каким беспомощным является человек в темноте или с завязанными глазами. Даже чрезмерное раздражение какого-нибудь органа, сопровождаемое чувством боли, предостерегает нас. Не будь чувствительности зубов к ощущению боли, мы бы поломали их, разгрызая жесткие предметы и чрезмерно надавливая на них зубами. Когда зубы портятся, сильная боль волей-неволей заставляет прибегнуть к врачебной помощи. Таким образом, и ощущение боли служит целям самосохранения организма.

Какое из перечисленных выше чувств является первоначальным? Таким надо признать осязание, которое бывает даже и у низко организованных животных, например, у дождевого червя. Органы осязания доставляют сигналы от окружающих тело предметов, непосредственно прикасающихся к телу. Радиус действия органа осязания (а таковым является кожа, а у некоторых животных — язык) невелик. Также невелик радиус действия и органа вкуса. Зато, например, орган обоняния позволяет определить присутствие пахучих предметов и на расстоянии. Но наибольшим радиусом действия обладают органы слуха и зрения. Они получают раздражение и от близких и от самых отдаленных предметов и передают мозгу множество впечатлений, так что являются важнейшими органами познания окружающего нас мира. Мы в этой книжке будем говорить о чувстве слуха и об его удивительном органе — об ухе.

2. ЗНАЧЕНИЕ СЛУХА В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ.

Только тот, кто имел несчастье оглохнуть, может вполне оценить значение слуха в нашем существовании. Оглохший человек делается инвалидом, хотя бы и со-

хранил все свои силы, физические и умственные. Для него резко уменьшается возможность предложить свой труд: ведь большинство профессий для успешного выполнения работы требует словесного общения с людьми. Конечно, в своей частной жизни глухой не так беспомощен, как слепой. По улицам он ходит свободно, хотя и подвергается большому риску попасть под экипаж, так как он не слышит предостерегающих окликов или сигнальных звонков. Если это человек умственного труда, глухота даже может явиться для него временным преимуществом: никакие окружающие шумы и звуки не отвлекают его от сосредоточенной умственной работы. Но для него одновременно исчезает возможность живой беседы, что часто необходимо при умственном труде. Глухой у себя дома может исполнять всякую работу, но случись пожар — и глухой спокойно останется в загоревшемся доме в то время, как все жильцы, услышав тревогу, успели выбежать на улицу. Глухота несет за собою не только множество стеснений и неудобств, но и множество опасностей.

Мы живо можем перенестись в положение глухого человека, если представим себя на кинематографическом сеансе перед фильмой, все подписи которой сделаны на незнакомом языке. Последовательность действий на такой фильме остается для нас во многом непонятной, несмотря даже на выразительную игру артистов. Испытываемые нами чувства беспомощности, неудовлетворенности, досады напоминают нам о душевном состоянии глухого человека, для которого окружающая жизнь, наполненная разнообразными звуками, является чужой, малопонятной: благодаря этому глухой человек повергнут в состояние глубокого одиночества. Волей-неволей он делается мало общительным, замкнутым, погруженным только в свои личные пере-

живания. Для него отпадает прелесть непосредственного удобного общения с людьми и лишь выработанный „разговор“ при помощи пальцев позволяет ему войти в общение с себе подобным, если не считать медленных сношений при помощи писания на бумаге.

Звуки отражаются на душевной жизни и потому, что способны оказывать могущественное влияние на сосудодвигательную систему человека, а через нее и на эмоции и, вообще, на всю область чувствований и настроений человека.¹ На примере кинематографической фильмы, которым мы только что пользовались, мы ясно видим, насколько музыкальное сопровождение, удачно подобранное, повышает впечатление от фильмы. Особенно сильно действие звуков певучих, мерно повторяющихся, ритмических, т. е. как раз музыкальных звуков. Вспомним, как ободряют усталых солдат звуки марша или хотя бы барабанный бой. Вспомним, как захватывает, увлекает и объединяет в общем порыве массовое хоровое исполнение какой-нибудь песни или гимна во время манифестации. Не только пение и музыка или искусная декламация, но всякие звуки влияют на кровеносные сосуды, вызывая их местное сужение или

¹ Кровеносные мелкие сосуды снабжены гладкими мышечными волокнами, которые управляются особыми нервами, отходящими от центральной нервной системы. Примером действия сосудодвигателей является покраснение и побледнение кожи. Если мышечные волокна кровеносных сосудов расслабляются, то к сосудам приливает кровь в большем количестве — и кожа краснеет. Если же действием сосудодвигательных нервов сосуды сжимаются, то кровь в значительной степени оттекает от них и кожа бледнеет. Кому не известно, что наши эмоции — например, гнев, стыд, страх — сопровождаются изменениями сосудодвигателей — отсюда яркая краска стыда, бледность ужаса, учащенное биение сердца при разного рода переживаниях.

расширение и тем возбуждая соответствующее чувство-
вание. Только одни звуки влияют сильнее, другие —
слабее. Кому не приходилось вздрагивать от неожидан-
ного, тревожного шума, например, ружейного выстрела,
звона разбитого стекла, удара грома и ощущать, как
сердце на момент замирает, а затем начинает усиленно
биться? То же, но в несравненно меньшей степени повто-
ряется и с иными звуками. Одни из них возбуждают,
другие угнетают или усыпляют. Всякий знает, как хо-
рошо спится в вагоне под однообразные ритмические
удары колес поезда. Особое настроение вызывается
шумом дождя, плеском морских волн, ударяющихся о
берег, завыванием ветра в трубе. Сильно влияют на
нас звуки человеческого голоса. Как часто при первом
знакомстве мы испытываем безотчетную симпатию или
антипатию к нашему собеседнику, в зависимости от
оттенка его голоса. Ораторы и актеры знают, как дей-
ствует на слушателей звуковое богатство речи, полное
разнообразных оттенков и интонаций. Прослушанная
речь какого-нибудь искусного оратора производит
совсем иное впечатление, чем та же речь, прочитанная
в газетном отчете. Кстати, к различным оттенкам звука
ухо наше очень чувствительно, звуковая же память
удерживает их изумительно долго. Иной раз вы встре-
чаете знакомого после долгих лет разлуки; внешность
его вы успели позабыть; но стоит ему заговорить — и
вы по манере его речи, по оттенку голоса сразу его
узнаете. Если мы сравним световые ощущения с
звуковыми, то должны будем признать, что световые
дают нам больше разнообразных и важных сведений и
указаний о внешнем мире и больше действуют на ум;
звуковые же ощущения больше волнуют нас, воз-
буждают больше сильных эмоций и отражаются, таким
образом, на жизни чувства. Давно замечено, что

слепые, сохранившие хороший слух, отличаются большей отзывчивостью, более общительным характером, чем зрячие, но совершенно утратившие слух — отличаются замкнутостью, эгоизмом, и в характере у них часто наблюдается некоторая черствость.

Для человека слух приобретает огромное значение, давая возможность словесного общения с себе подобными. Как ныне с несомненностью установлено, человеческая речь возникла постепенно из тех выкриков, междометий и восклицаний, которые невольно возникали при коллективных трудовых процессах, например, при перетаскивании больших тяжестей, при охоте, при сооружении жилищ или обработке каменных изделий. И речь служит доныне лучшей спайкой человеческого коллектива: даже отдельные коллективы, именуемые нациями, отличаются один от другого прежде всего по языку.

Способность речи, способность общаться через воздушное пространство — в сущности, так же изумительна, как и радио. Зачатки подобного общения мы видим и среди животных. Охотникам известно, что иные птицы издают предостерегающий крик при приближении вооруженного человека и этим лишают охотника некоторой части его трофеев, так как дичь настораживается и спешит улстеть или убежать. Разнообразные звуки издает наседка, окруженная выводком цыплят: она сзывает их, отыскав пищу, или предостерегает при появлении коршуна. Слухом пользуются животные для избавления от врагов и нападения на добычу. Заяц возлагает все свои надежды на быстрые ноги и на изумительно чуткий слух: недаром у него такие большие уши. Надо думать, что большинство животных обладает более тонким слухом, чем человек. Признаком тонкого слуха у животных служит большая и подвижная ушная раковина.

Как же устроен тот удивительный аппарат, который называется ухом и которым мы улавливаем бесконечно-разнообразные звуки? Перейдем к его описанию, причем, попутно, дадим краткий очерк значения каждой из отдельных частей слухового аппарата.

3. СТРОЕНИЕ СЛУХОВОГО АППАРАТА.

Наш слуховой аппарат построен из трех частей: 1) наружного уха, 2) среднего уха и 3) внутреннего уха. Главные части слухового аппарата, а именно: сред-

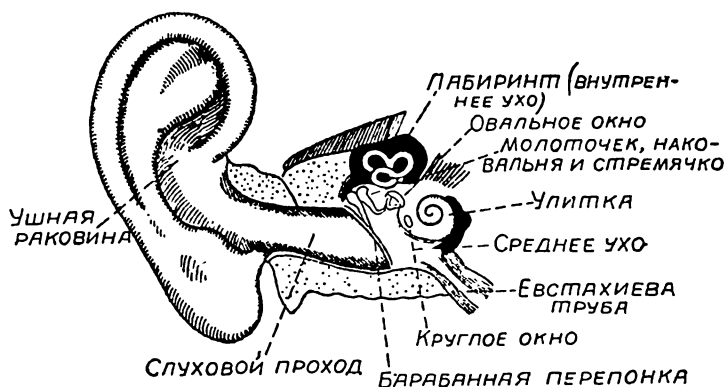


Рис. 1.

нее ухо и внутреннее ухо помещены, в виде маленьких полостей, в височной кости. Обе височные кости помещены по бокам черепа. Височную кость можно сразу отличить по двум признакам: в ней есть отверстие (наружный слуховой проход) и отросток направленный к скуловой кости.

Наружное ухо состоит из ушной раковины и слухового прохода. Звуковые волны распространяются через слуховой проход до среднего уха. Среднее ухо отгорожено от наружного небольшой и

очень тонкой перепонкой, называемой барабанной перепонкой. Барабанная перепонка приводится в колебательное движение теми звуковыми вибрациями, которые до нее достигают, при чем она своими колебаниями воспроизводит в точности колебательные движения воздуха. Барабанная перепонка не плоская, а имеет слегка воронкообразную форму. Своей вогнутой поверхностью она обращена к слуховому проходу, а выпуклостью — ко внутреннему уху (рис. 1). К выпуклой

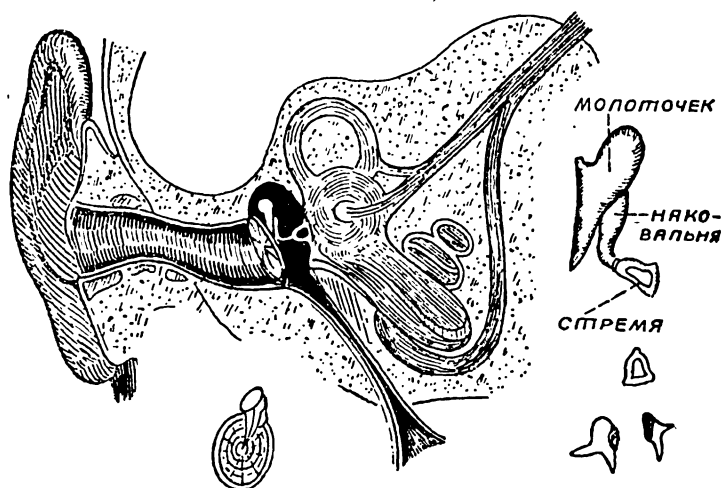


Рис. 2.

стороне барабанной перепонки прилегает маленькая косточка, называемая молоточком (рис. 2). Молоточек сращен с барабанной перепонкой и участвует в ее колебательных движениях. К молоточку присоединена вторая косточка — наковальня, а к наковальне очень маленькая кость — стремя (рис. 2). Стремя соединено с наковальней крошечной косточкой, как бы шарниром. Стремя прилегает к тончайшей перепонке, ведущей во внутреннее ухо. Отверстие внутреннего уха, затянутое

этой перепонкой, носит название овального окна. Стремя прикасается к самой перепонке, а не к краям отверстия. Поэтому сотрясения стремени совершенно свободно передаются перепонке овального окна. Овальное окно ведет во внутреннее ухо, или лабиринт; так названо внутреннее ухо за свое сложное устройство. Мы пока не будем касаться его устройства, скажем лишь, что главной составной частью его является улитка: костный канал, спирально извитой и наполненный, как и весь лабиринт, жидкостью („эндолимфой“). В улитке находятся разветвленные концы акустического нерва с концевыми воспринимающими аппаратами. Сотрясения жидкости, вызываемые стремением и перепонкой овального окна, возбуждают концевые аппараты акустического нерва, и возбуждение передается в мозг, где возникает слуховое ощущение.

Заметим, что молоточек, наковальня и стремя образуют своей совокупностью ломаный рычаг второго рода. Точкой опоры служит головка молоточка. Одним плечом служит рукоятка молоточка, сращенная с барабанной перепонкой, а другим плечом — отросток наковальни вместе со стремечком. Благодаря тому, что перепонка овального окна по поверхности раз в двадцать меньше барабанной перепонки, ее размахи меньше, чем размахи барабанной перепонки. Другими словами, конец рычага, обращенный к овальному окну, совершает меньшие размахи, но зато, по правилу рычага, с большей силой.

Под овальным окном расположено второе отверстие, называемое круглым окном. Оно также обращено в полость среднего уха и также затянато перепонкой. Какое же назначение круглого окна? Очень важное. Мы знаем, что жидкости сжимаются с большим трудом; если прилагать к сжатию неболь-

шое усилие, то можно сказать, что практически жидкости не сжимаемы. Жидкость (лимфа) наполняет целиком всю свободную полость внутреннего уха. Если бы не было круглого окна с его перепонкой, перепонка овального окна не могла бы совершать колебаний, благодаря несжимаемости и неподатливости лимфы. Чтобы пояснить это, обратимся к опыту. Возьмем так называемую вульфову склянку с двумя горлами (рис. 3). Одно отверстие обвяжем тонкой резиновой пленкой.¹ Затем нальем в банку воды до верха и плотно заткнем

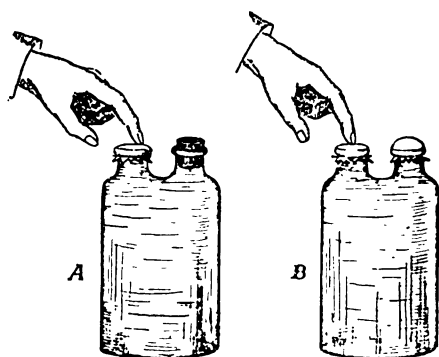


Рис. 3.

второе отверстие пробкой. Надавим на перепонку пальцем. Благодаря несжимаемости воды, находящейся под перепонкой и наполняющей весь сосуд, перепонка обнаруживает полную неподатливость. Если мы защитим середину ее пальцами и попытаемся

поднять — это нам также не удастся. Теперь вынем из горла пробку, дольем до самого верха горла воды и обвяжем горло второй перепонкой. Повторяя опыт, найдем, что при надавливании первая перепонка хорошо вдается внутрь, а вторая приподнимается; если же мы первую начнем тянуть вверх, вторая вдается

¹ Резиновые пленки полезно иметь для многих опытов. Материалом для них могут служить так называемые „хирургические пальцы“ — тонкие чехлы из резины, надеваемые на пальцы при хирургических операциях или при анатомических вскрытиях, если на пальце имеется пьрез. Или же взять резиновый дамский купальный чепчик.

внутри. Таким образом, вторая перепонка служит для компенсации колебания первой. Такую же роль, какую играет вторая перепонка в нашей модели, играет и перепонка круглого окна во внутреннем ухе.

Полость среднего уха сообщается с полостью носоглотки узким проходом — так называемой Евстахиевой трубой (по имени открывшего ее анатома). Просвет Евстахиевой трубы обыкновенно закрыт, но приоткрывается при глотательных движениях. Евстахиева труба служит для сообщения внутренней полости уха с наружным воздухом. Благодаря Евстахиевой трубе давление воздуха внутри полости среднего уха такое же, как и в наружном воздухе. Следовательно, барабанная перепонка испытывает со стороны слухового прохода и со стороны среднего уха одинаковое воздушное давление, а это есть существенное условие для того, чтобы она могла без помехи колебаться. Если же по одну сторону барабанной перепонки давление делается больше, барабанная перепонка натягивается и ее колебания благодаря этому делаются несвободными, тормозятся. Тогда мы ощущаем притупление слуха, то, что обозначается словами: „уши заложило“. Мы можем искусственно воспроизвести на время это неприятное явление в следующем опыте итальянского ученого Вальсавья. Набрав воздуха в легкие и закрыв носовые отверстия, слегка напружим воздух в легких нажимом грудных и брюшных мышц и глотнем слюну. При глотании на момент приоткрывается отверстие Евстахиевой трубы в полость рта, а так как воздух во рту также сжат, то он пройдет в полость среднего уха, увеличит там давление воздуха, и барабанные перепонки обеих ушей выпятятся слегка наружу. Отверстие трубы закрывается, и если мы теперь откроем носовые отверстия и вздохнем свободно, избыток давления в среднем ухе

остается, так как обе Евстахиевы трубы закрыты. Мы испытываем неприятное ощущение в ушах и обнаруживаем притупленность слуха. Но стоит опять глотнуть слюну, на этот раз не закрывая носовой и ротовой полости, Евстахиева труба приоткроется, выпустит излишек воздуха из среднего уха, давления на барабанную перепонку снаружи и внутри уравниются, и мы опять слышим хорошо. То же самое повторяется, если мы не напряжим, а, напротив, разрядим действием дыхательных мышц воздух в полости рта и носа (зажав ноздри) и глотнем слюну. Только теперь барабанная перепонка втянется внутрь. Предупреждаем читателя, что опыт этот следует производить осторожно, не делая слишком больших усилий и не злоупотребляя частым его повторением.

Теперь от общего рассмотрения устройства слухового аппарата перейдем к более подробному рассмотрению его частей и начнем с наружного уха.

НАРУЖНОЕ УХО.

Оно состоит, как сказано выше, из ушной раковины и слухового прохода.¹

Ушная раковина.

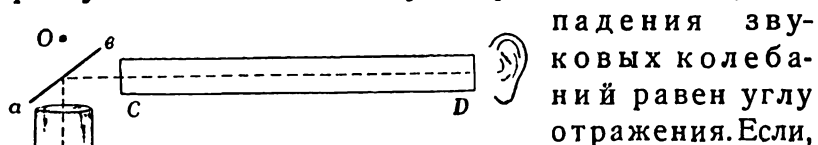
Ушная раковина построена из хряща, одетого кожей. Некоторая часть ушной раковины у человека состоит из кожи и носит название ушной мочки. Ушная раковина получила свое название за свою форму, которая напоминает своими извилинами раковину некоторых моллюсков. Ушная раковина у человека неподвижна. Есть небольшие мышцы, способные приводить ее в дви-

¹ Самая наружная часть слухового прохода — хрящевая, остальная — костная.

жение, но они у человека почти атрофированы, т. е. недоразвиты от неупотребления. Зато ушная раковина подвижна у многих животных, обладающих тонким слухом. Всякому, например, известно, что лошадь, прислушиваясь к шороху, который ее тревожит, „прядет ушами“, т. е. поочередно обращает отверстия ушных раковин в разные стороны, стараясь лучше определить направление, откуда идут звуки. Лошадь раньше замечает эти слабые звуки, чем едущий на ней всадник. Заяц при малейшем шорохе поднимает торчком свои ушные раковины и чутко прислушивается. Также и слоны имеют огромные ушные раковины, которые они приподнимают, улавливая слабые звуки и направляя их в слуховой проход. Кстати, слон при своем превосходном слухе имеет не особенно острое зрение. Поэтому слон и полагается главным образом на слух. По всей вероятности, слоны отыскивают водопой по слуху: вожак стада взбирается на возвышение и, поворачиваясь в разные стороны, старается определить по слуху, откуда слышно журчание воды.

Ушная раковина служит для собирания и отражения слуховых волн к слуховому проходу. Всем известен жест глуховатых людей: когда они желают лучше слышать, они подносят к уху согнутую ладонь, от вогнутой стороны которой звуки отражаются в слуховой проход. Таким же собирателем слуховых колебаний является и слуховой рожок, который узким концом вставляется в слуховой проход, а наружным широким, раскрытым наподобие воронки, обращается к источнику звука. Ушную раковину таких животных, как слон, мы можем сравнить с вогнутым зеркалом, отражающим свет в одно место. Чтобы еще лучше разобраться в этом явлении отражения звука, обратимся к некоторым несложным опытам.

Кладем на стол клочок ваты, помещаем на него небольшие карманные часы, а сверху накрываем широким ламповым стеклом так, чтобы часы не касались стенок стекла (рис. 4). Поместив ухо над стеклом в точке O , мы явственно слышим тикание часов. Но если мы поместим между стеклом и ухом картонную полоску ab , то перестанем слышать тикание: звуковые колебания, доходя до картона, отражаются от него преимущественно по такому направлению, что угол



падения звуковых колебаний равен углу отражения. Если,

например, полоска ab расположена под углом в 45° к горизонту, то звук после отражения будет двигаться преимущественно в горизонтальном направлении.¹ Еще лучше слышны будут звуки, если мы поставим вдоль распространения звука широкую трубу CD (например, изготовленную из картона), длиной около метра. Путь ее конец C находится вблизи отражающей звук поверхности ab (рис. 4). Держа ухо у конца D , мы хорошо

Рис. 4.

слышим тикание часов. Если будем ставить трубу CD под другими углами к пластинке ab , то звуки слышны хуже.

Обратим, кстати, внимание на то, что вдоль трубы звук распространяется с малым ослаблением силы. Это объясняется тем, что внутри трубы звуковые колебания

¹ Для света закон угол падения луча равен углу отражения совершенно точен в математическом отношении. При отражении звука от поверхности часть звуковых колебаний рассеивается по всем направлениям, но большая часть отражается, следуя закону „угол падения равен углу отражения“.

не рассеиваются во все стороны (как это бывает при свободном распространении звука на открытом месте): стенки трубы мешают звуковым волнам проникать наружу, отражая их все время внутрь трубы; в результате звуковая энергия сохраняется, передаваясь от одного слоя воздуха к другому такого же объема, пока не достигнет конца трубы. Это свойство труб применяется на пароходах, где с капитанского мостика распоряжения передаются по трубе в машинное отделение.

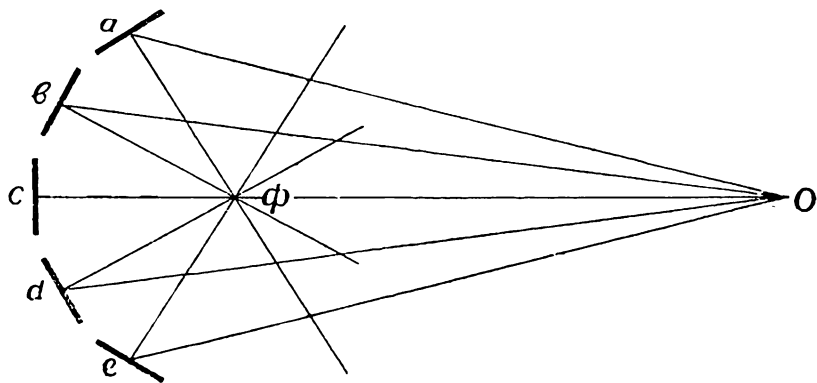


Рис. 5.

Мы можем расположить целый ряд плоских поверхностей a , b , c , d и e (рис. 5) так, что они отразят колебания, распространяющиеся из источника звука O в одно место Φ . Если в Φ поместим ухо, то здесь звук будет услышан явственно, хотя бы источник звука был расположен в отдалении. Легко видеть, что отражающие маленькие площадки образуют своей совокупностью как бы вогнутое зеркало. Таким „вогнутым зеркалом“ для отражения звуковых колебаний может послужить обыкновенный раскрытый зонтик. Укрепим его в положении, указанном на рис. 6 (опыт удобно производить где-нибудь на открытом воздухе, например

в саду). В отдалении поставим тикающий будильник. Стоя рядом с зонтиком, мы звуков будильника не слышим. Теперь расположимся сбоку от зонтика, нагнув голову так, чтобы ухо пришлось в фокусе отраженных колебаний. Когда нам удастся отыскать фокус, тикание становится явственно слышным.



Надо лишь при этом не загораживать туловищем доступа звуковых волн к зонтику.¹ Зонтик в этом опыте служит как бы моделью ушной раковины таких крупных животных, как слон.



Рис. 6.

Слуховой проход.

Перейдем теперь к слуховому проходу. Его внутренняя часть — костная (расположена в височной кости), наружная часть — хрящевая. Слуховой проход выстлан кожей, которая покрыта особыми железами, выделяющими полужидкий секрет желтого цвета, так называемую ушную серу. Так названо это вещество за внешнее сходство с серой. На самом же деле серы в нем несколько не содержится. Это — жироподобное вещество. Основное свойство ушной серы состоит в том, что при соприкосновении с воздухом она понемногу густеет и твердеет и отделяется напоследок небольшими комками,

¹ Можно отыскивать фокус стеклянной воронкой, обратив ее раструбом к зонтику и надев на узкий конец ее резиновую трубку: другой конец трубки прикладывается к уху. Отраженные звуки, попадая в воронку, доходят до уха, не ослабляясь.

которые,* отставая от стенки ушного прохода, мало-помалу вываливаются наружу. Отделению отвердевших комочков ушной серы от стенок слухового прохода способствуют те легкие сотрясения, которые производятся нижней челюстью при жевательных движениях. Кстати, опорное сочленение нижней челюсти расположено рядом, немного впереди слухового прохода.

Ушная сера имеет очень важное назначение. Дело в том, что в окружающем нас воздухе носится крупная и мелкая пыль. Вместе с воздухом она проникает во все полости, даже в узкие, например в замочные скважины, и там отстаивается, образуя серые комки, засоряющие полости. Проникает пыль и в ушной проход. Здесь, осаждаясь на ушную серу и прилипая к ней, пыль образует вместе с серой твердые комки, которые и удаляются сами собой наружу. В наружной части слухового прохода есть еще защитное приспособление—волоски. Они обращены концами наружу, так что не препятствуют выкатываться комкам серы. Зато такое расположение волосков препятствует проникновению в ушной проход более крупных, чем пыль, предметов. Так, например, мелкие насекомые проникают в слуховой проход со сравнительным трудом: волоски, как маленькие колья, обращены навстречу их движению. Если же случается мелкому насекомому пробиться (преимущественно во время сна человека) в слуховой проход, то, ползая там, оно производит зуд, а также раздражение барабанной перепонки, когда ее касается. В таком случае следует влить в слуховой проход теплой воды, от которой насекомое погибает. Самое же лучшее в таких случаях обратиться к врачу, который надлежащим образом промоет слуховой проход.

Ни в каком случае не следует производить грубую механическую прочистку слу-

хового прохода, например, пытаться удалять ушную серу шпилькой или спичкой, на которую намотана вата. Слуховой проход имеет незначительную длину. Вводя в него твердый стержень, легко повредить нежную барабанную перепонку и вызвать этим глухоту.

Ушная сера часто бывает причиной временного приглушения слуха. Небольшие комки серы могут прилипнуть к самой барабанной перепонке и тормозить ее колебания. Затем, в некоторых случаях скопление ушной серы может образовать пробку, закрывающую доступ звуковым волнам к барабанной перепонке. Часто при некоторых простудных болезнях катарральное состояние носоглотки может распространиться через Евстахиеву трубу и среднее ухо на слуховой проход. В таком случае начинается избыточное выделение ушной серы и закупорка слухового прохода. Если это произошло, следует немедленно обратиться к врачу, который промоет слуховой проход особой жидкостью, растворяющей ушную серу, и к пациенту возвращается чувство слуха в прежнем объеме.

Бывает так, что у маленьких детей с первых годов жизни образуется в слуховых проходах серная пробка. Ребенок плохо или совсем не слышит, он растет глухим, не может выучиться говорить, его умственное развитие очень замедляется. Своевременное обращение к врачу возвращает ребенку слух и возможность нормального развития.

СРЕДНЕЕ УХО.

Барабанная перепонка.

Среднее ухо отделяется от наружного барабанной перепонкой. Очертание барабанной перепонки не круглое, а эллиптическое, при чем длинная ось элли-

писиса имеет в длину 9 мм, а короткая 7 мм.¹ Барабанная перепонка, как было выше упомянуто, слегка вдавлена внутрь (это ее нормальное положение) и сращена со стороны среднего уха с маленькой косточкой: с рукояткой молоточка. Барабанная перепонка очень тонка, но достаточно прочна для того, чтобы выдерживать, не лопааясь, очень громкие звуки, например, звуки пушечных выстрелов. Впрочем, ожидая очень громкий звук, например, звук взрыва или пушечного выстрела, следует закрыть отверстие слуховых проходов пальцами или шире раскрыть рот: звук тогда проникает к барабанной перепонке и со стороны полости рта, и через Евстахиеву трубу (хотя на этом пути передача звука ослабленная: ведь Евстахиева труба обычно бывает сомкнута). Звуковые колебания, проникая к барабанной перепонке со стороны широко открытого рта, отчасти ослабляют те колебания, которые доходят со стороны слухового прохода.

Барабанная перепонка разрушается в некоторых случаях. Так, у профессиональных водолазов, ныряющих на большую глубину, барабанная перепонка обычно продавливается наружным напором воды. Повреждается барабанная перепонка и при „поднимании за уши“. Этот варварский опыт часто продлевается над маленькими детьми и носит у обывателей особое название: „Москву показать“. Желая „показать Москву“, взрослый человек ущемляет между ладонями своих рук череп ребенка с правой и левой стороны и слегка приподнимает тело за голову, а затем ставит обратно на пол. Часто подобный опыт заканчивается моментальной смертью: как известно, верхние два позвонка, носящие

¹ Поверхность барабанной перепонки — около 50 квадратных миллиметров.

название эпистрофея и атланта, соединены между собою менее прочно, чем остальные шейные и туловищные позвонки. Особенно нежная, неокрепшая связь у малолетних детей. И вот, при поднятии ребенка за голову атлант часто отрывается от эпистрофея, а это ведет за собою разрыв продолговатого мозга и моментальную смерть. Часто барабанная перепонка лопаается у любителей громко сморкаться: под большим давлением воздуха из носовой полости Евстахиева труба может открыться, а барабанная перепонка — лопнуть. Такое сильное сморкание сразу через обе ноздри может привести к тому, что через Евстахиеву трубу в среднее ухо вторгается слизь из носоглотки, а это к своей очереди влечет к очень неприятным последствиям. Поэтому, следует сморкаться без особого напряжения и поочередно — через одну ноздрю и через другую. Как это ни странно по первому взгляду, но крепкий поцелуй в ухо ведет к разрыву барабанной перепонки, особенно у маленьких детей: происходит сильное присасывание воздуха со стороны наружного слухового прохода и избыток давления воздуха со стороны среднего уха разрывает перепонку.

Барабанная перепонка имеет особое строение. Соединительнотканые волокна, ее образующие, расположены в радиальном направлении, т. е. идут от середины к окружности. Затем есть круговые волокна, идущие концентрически.¹ Такое устройство облегчает барабанной перепонке ее задачу: с легкостью воспринимать все колебания воздуха, до нее доходящие. Заметим, кстати, что барабанная перепонка не имеет собственных колебаний, какие имеет, например, струна,

¹ Волокна расположены в два слоя: наружный (обращенный к слуховому проходу) состоит из радиальных волокон, а внутренний — из круговых. Толщина барабанной перепонки 0,1 мм.

натянута между двумя колками, или маятник, качающийся вокруг точки подвеса. Барабанная перепонка совершает несвободные или вынужденные колебания, но зато совершает их с большим совершенством: она в точности повторяет характер всевозможных колебаний воздуха, доходящих до нее, и передает их через молоточек, наковальню и стремя на овальное окно, т. е. сообщает их жидкости внутреннего уха. Вот это соединение барабанной перепонки с косточками и перепонкой овального окна лишает барабанную перепонку ее собственного тона. Сравним струну и барабанную перепонку. Если произвести на струну отрывочное воздействие, например, дернуть ее или ударить по ней карандашом, струна продолжает звучать, издавая собственные, ей свойственные колебания. Если же произвести отрывочное воздействие на барабанную перепонку (пусть на нее упала звуковая волна, происшедшая от ружейного выстрела), то барабанная перепонка колеблется ровно столько времени, сколько колеблются частицы воздуха, к ней прилегающие и передающие колебательное движение: как только кончится колебательное движение воздуха, кончаются и соответствующие колебания барабанной перепонки. Далее, струна с особой силой отзывается на те колебания, которые по своей частоте близки к ее собственным колебаниям: если под натянутой струной извлекать ноты на скрипке, то струна слабо звенит в ответ им; но она зазвучит сразу довольно громко, если тон скрипки случайно совпадет с тоном ее собственных колебаний. Струна, таким образом, как бы предпочитает некоторые колебания, у нее есть избирательная отзывчивость на некоторые колебания, и она от них усиленно раскачивается. То же самое вы можете наблюдать над ламповым стеклом, которое вы держите пальцами

за верхний конец, а нижним концом постепенно погружаете в банку с водою (рис. 7), держа над отверстием стекла звучащий камертон. Полость стекла, наполненная воздухом, откликается на колебания камертона, усиливая их; но при некоторой длине воздушного столба, заключенного в стекле, этот отклик вдруг делается очень большим: это происходит тогда, когда колебания камертона совпадают с собственными колебаниями воздушного

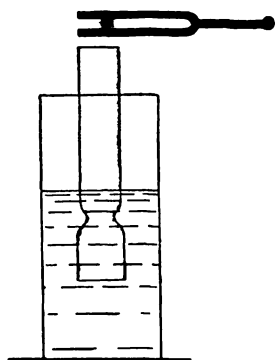


Рис. 7.

столба.¹ Следовательно, наш воздушный столб также обладает избирательной отзывчивостью. Вот это свойство избирательной отзывчивости совершенно отсутствует у барабанной перепонки. Если так можно выразиться, она беспристрастно воспринимает и передает ко внутреннему уху всевозможные колебательные движения, без малейшего промедления и не прибавляя ничего от себя.²

Косточки.

О косточках среднего уха мы упоминали выше. На рис. 8 они изображены при увеличении в 5 раз. Они

¹ Узнать высоту собственного тона воздушного столба можно так: следует вдвухать воздух узкой струей наискосок к плоскости отверстия стекла (дутье лучше производить не губами, а через латунную трубку, конец которой сплюснен в виде узкой щели: щель должна быть параллельной плоскости отверстия стекла). Вдувая, мы услышим ровный тон, издаваемый столбом воздуха.

² В этом отношении на барабанную перепонку походит мембрана фонографа (также не имеющая собственных колебаний), между тем как мембрана телефона, к сожалению, далеко не обладает этим свойством.

представляют своей совокупностью ломаный рычаг, передающий колебания с барабанной перепонки на овальное окно; кроме того они мешают возникновению собственного тона барабанной перепонки. К головке молоточка прикреплена маленькая мышца, состоящая из гладких волокон, следовательно, независящая от нашей воли. При слишком сильных колебаниях, угрожающих целостности барабанной перепонки, мышца эта автоматически натягивается и этим тормозит или умеряет слишком сильные размахи перепонки. Впрочем, роль этой мышцы выяснена еще не вполне. Напоминаем, что стремя прикасается к самой перепонке овального окна, но не к его костяной рамке, на которую она натянута.

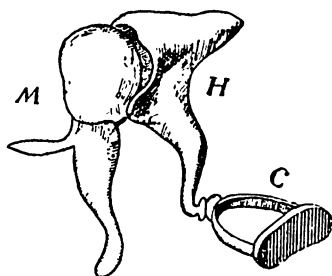


Рис. 8.

Какую роль играет среднее ухо? В этой небольшой замкнутой камере помещается аппарат из вышеописанных косточек, служащий для передачи колебаний с барабанной перепонки на внутреннее ухо. Кроме того благодаря сообщению с полостью носоглотки через Евстахиеву трубу, внутренняя полость служит для уравнивания воздушного давления с обеих сторон барабанной перепонки.

Евстахиева труба.

Но это уравнивание происходит до тех пор, пока правильно работает Евстахиева труба. Мы уже говорили, что она сомкнута (на том конце, который обращен к носоглотке) и что она легко приоткрывается при глотательных движениях. Сомкнутость Евстахиевой трубы имеет большое значение: будь она постоянно приоткрыта,

мы оглушались бы звуками собственного голоса, которые легко доходили бы прямым путем до барабанной перепонки. ¹ Кроме того, в среднее ухо легко бы проникала слизь из носоглотки, а это повело бы к стеснению движений передаточного аппарата — косточек — или даже к воспалению среднего уха. Также плохо пришлось бы нам, если бы произошла закупорка Евстахиевой трубы: прекратилось бы уравнивание воздуха и слух значительно притупился бы. К сожалению, эта закупорка Евстахиевой трубы происходит часто при хроническом воспалительном состоянии носоглотки. Надо прямо сказать, что катарры носоглотки рано или поздно ведут к притуплению слуха и к глухоте. Всякому страдающему насморком знакомо явление, когда, вследствие разбухания слизистой оболочки, „закладывает нос“. Подобным образом может „заложить“ и Евстахиеву трубу, если воспалительное состояние распространится на нее и делается постоянным, хроническим. Тогда выравнивание воздушного давления прекращается. В данном случае может помочь вмешательство врача и чем раньше обратиться к помощи врача, тем лучше. ²

¹ Кстати, заметим, что очень легко звуки передаются на воспринимающий аппарат уха через кости черепа. Это можно проверить на опыте: если сжать между зубами (не смыкая губ) нитку, к нижнему концу которой привязана столовая ложка, и, заткнув пальцами уши, ударить ложкой о стол, вибрации распространяются через зубы на кости черепа и слышны, как громкие удары колокола. Если грызть сухари, то субъективно этот звук ощущается как оглушительный, наполняющий всю комнату, и кажется, что он заглушает все остальные звуки в комнате и что все должны обратить на него внимание; между тем со стороны это лишь слабый хруст.

² Против катарров носоглотки лучшее средство — закаливание организма. Начинать закаливать надо с лета. Оставаться несколько минут утром и вечером без одежды. Летом ходить босиком по земле, зимою — по полу.* Кроме того, закаливание можно производить и водою, обтирая тело мокрым полотенцем (за ушами, шею и

Следует, вообще, следить за состоянием слухового аппарата. Многие люди и не подозревают, что у них началось притупление слуха, и спохватываются лишь тогда, когда слух на три четверти притупился. Поэтому следует время от времени проверять остроту своего слуха. Нормальное ухо слышит шопот на расстоянии 40 — 50 шагов (если кругом тихо). Затем, проверять остроту слуха следует по слышимости тикания карманных часов, выслушивая сначала тиканье правым ухом, затыкая левое, и затем затыкая правое, выслушивать левым. Нормальное ухо слышит тикание часов в среднем на расстоянии 3 — 5 шагов. Любопытно, что после 50-летнего возраста нормальное ухо слышит тиканье часов хуже, сохраняя прекрасный слух на слова и иные звуки.

При начинающихся заболеваниях уха ощущаются следующие субъективные явления: длительный шум в ушах, звон, кипение, шипение. Тогда следует немедленно обратиться к помощи врача.

Заканчивая обзор среднего уха, отметим, что в настоящее время с успехом применяют искусственную барабанную перепонку вместо поврежденной (прорванной). На тонкой рамке натягивают тончайшую перепонку и вдвигают в глубину слухового прохода до соприкосновения с молоточком. Такая протеза заменяет барабанную перепонку лишь отчасти: нет прежней отчетливости слуха, но все-таки это есть спасение от полной глухоты.

Время от времени приходится менять искусственную барабанную перепонку.

туловище) и сейчас же производя энергичное растирание кожи сухим мохнатым полотенцем до красноты. Закаливание воздухом лучше, чем водой. Обращаем еще внимание читателя на вредный обычай затыкать уши ватой.

ВНУТРЕННЕЕ УХО.

Переходим к описанию самой сложной части слухового аппарата, именно внутреннего уха. Недаром оно получило название лабиринта¹ за сложность своего устройства.

Внешний вид его представлен на рис. 9 при увеличении в 5 раз.

Лабиринт представляет собою как бы костный очень тонкий футляр, внутри которого находятся перепончатые мешочки, по форме, в общем, соответствующие

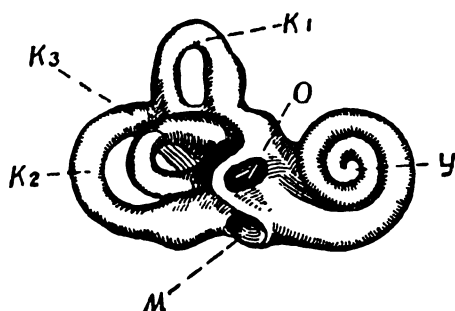


Рис. 9.

наружным костным очертаниям лабиринта. Мешочки и вся вообще полость лабиринта наполнены особой жидкостью лимфой. Часть лимфы, заключенная между перепончатыми оболочками и костными стенками,

называется перилимфой, а часть, заключенная внутри мешочков, — эндолимфой. В лабиринте имеется два отверстия: овальное окно *O* (рис. 9) и круглое окно *M*, затянутое тонкими перепонками. Это — как бы вход в лабиринт и выход из него. Действительно, представим себе, что какое-нибудь маленькое существо вошло через *O*; обойдя его извивы, оно вышло бы через отверстие *M*. Мысленно вступим в лабиринт через овальное окно. Мы окажемся в полости, в которую отрываются отверстия полукружных каналов *K*₁, *K*₂ и *K*₃ и улитки *Y*

¹ Лабиринтом называется здание со сложными, запутанными ходами, в которых легко заблудиться.

(см. рис. 9). ¹ Обойдя полукружные каналы и вернувшись в полость, мы из нее направимся в улитку. Улитка представляет собою спиральный ход, делающий $2\frac{3}{4}$ оборота. Вдоль нее тянется перегородка, разделяющая ее как бы на два этажа: нижний и верхний. Мы вступаем сперва в верхний этаж и, следуя за всеми извилинами улитки, доходим до ее вершины. Там в перегородке имеется отверстие, ведущее в нижний этаж хода улитки; идя вдоль него и сделав опять $2\frac{3}{4}$ оборота, мы попадаем в круглое окно.

Тот путь, который мы мысленно совершили, совершают и колебательные движения, которые от овального окна распространяются через весь лабиринт к круглому окну.

Напоминаем читателю, что перепонка круглого окна служит для компенсации колебаний перепонки овального окна (см. опыт на стр. 14).

Полукружные каналы.

Займемся сперва полукружными каналами. Они расположены в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: в плоскости сагиттальной, параллельной той плоскости, которую нам надо мысленно провести, когда мы делим череп на две половины: правую и левую. Когда мы киваем головой, наш кивок совершается в сагиттальной плоскости. ² На рисунке этот ка-

¹ Полость эта образована двумя сообщающимися перепончатыми мешечками, носящими латинские названия утрикулус и саккулус. Из них утрикулус соединен с полукружными каналами, а саккулус — с улиткой. Но так как эти мешечки сообщаются один с другим, то мы их будем считать за одну полость.

² Название происходит от латинского слова — сагитта — стрела. Сагиттальная плоскость — плоскость полета (плоскость траектории) стрелы.

нал изображен буквой K_1 . Второй канал (K_2) находится во фронтальной плоскости, т.-е. в вертикальной плоскости, параллельной вертикальной плоскости, проходящей через линию наших плеч. Когда мы качаем головой направо и налево, качания совершаются во фронтальной плоскости. Наконец, третий канал (K_3) лежит в плоскости горизонтальной.

В каналах есть расширения (ампулы). В них входят разветвления слухового нерва и оканчиваются в виде очень тонких и очень хрупких ворсинок. Там, где нерв разветвляется (внутри каналов), находятся многочисленные известковые кристаллические тельца (отолиты или слуховые камешки). Они очень мелки. При движениях лимфы они смещаются и производят воздействие на концы нервов. Здесь мы имеем перед собою какой-то сигнальный аппарат или прибор.

Исследования показывают, что полукружные каналы являются не органом слуха, а органом равновесия нашего тела; при помощи их мы судим о положении головы и всего тела (на ряду со зрительными и двигательными ощущениями). Но они не только дают нам сигналы о наклоне туловища и головы в какой-нибудь плоскости, а управляют еще и мускульным чувством (ощущение силы натяжения мышц, когда мы наклоняем или поворачиваем голову или туловище).

Вы наклоняетесь, чтобы поднять упавший на пол носовой платок. Вы быстро и уверенно сгибаете свое туловище как раз настолько, чтобы достать рукой до платка и так же быстро и уверенно выпрямляетесь: вы управляете своим чувством равновесия и силой натяжения мышц в плоскости наклона. Если мы во время наклона туловища мысленно заглянем в полукружные каналы, то придем к заключению, что жидкость (лимфа) ведет себя во всех каналах неодинаково. Она

слегка смещается вдоль того канала, в плоскости которого произошло наклонение (в данном случае — в плоскости сагиттального канала), и остается неподвижной в остальных двух. Смещение жидкости вызывает смещение отолитов (мельчайших кристалликов извести), которые при этом в большей или меньшей степени воздействуют на ворсинки, являющиеся кончиками нервов, — и вот мозг получает по нерву уведомление о происшедшем отклонении туловища и в связи с этим, косвенно, и о силе, необходимой для целесообразного отклонения туловища. Представим, что сагиттальный канал перетянут ниткой, так что продольные движения лимфы в нем будут невозможны. Тогда при наклонении туловища мозг не получит соответствующего извещения или сигнала и не в состоянии будет регулировать самое движение и его силу: наклоняясь за платком, мы потеряем равновесие и упадем вперед. Вставши с большим трудом на ноги, мы будем шататься в сагиттальной плоскости, делая неуверенные шаги вперед, отступая назад и при малейшем резком движении упадем вперед или назад.

Теперь поясним, почему полукружный канал сигнализирует при вращении его в некоторой определенной плоскости и не сигнализирует, если его вращать в плоскостях, перпендикулярных к этой определенной плоскости.

Приготовим модель полукружного канала в виде кольцеобразно согнутой (на пламени спиртовой лампочки) трубки, концы которой остоят на 2—2½ см. Погрузим трубку в воду, в которой плавают мелкие клочки ваты, чаинки и тому подобные взвешенные в воде легкие тельца; пусть они попадут в трубку вместе с водой. Под водой смыкаем оба конца стеклянной трубки резиновой трубкой: у нас получается кольцо (рис. 10),

целиком наполненное жидкостью. Мы можем вынуть его из воды и произвести с ним соответствующие опыты.

Но прежде всего зададим себе вопрос, в каких направлениях жидкость в кольце удобоподвижна (т. е. частицы ее могут сместиться на несколько сантиметров относительно кольца) и в каких неудобоподвижна. Ясное дело, что жидкость вполне удобоподвижна только вдоль

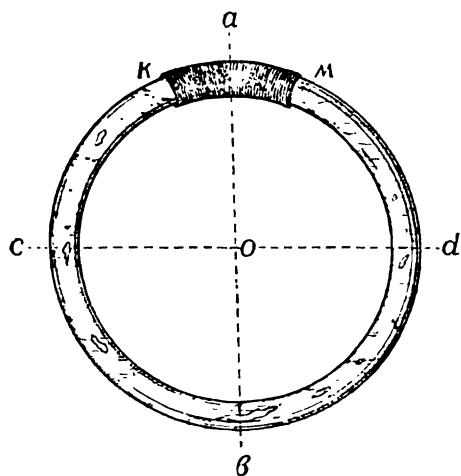


Рис. 10.

канала: она могла бы даже обтечь вдоль него неограниченное число раз (смотря по условиям опыта). Но если жидкость удобоподвижна вдоль канала, то поперек она неудобоподвижна: при попытке двигаться поперек она встретит сопротивление стенок.

Если, поэтому, мы повернем кольцо вокруг диаметра ab

(рис. 10), жидкость внутри кольца не подвергнется смещению в какую-нибудь сторону (это будет заметно и по плавающим хлопьям). Также не произойдет смещения, если мы повернем кольцо вокруг диаметра cd . Но теперь повернем кольцо вокруг точки O , вокруг оси, перпендикулярной плоскости кольца. Это легче всего устроить, если положить кольцо на стол и повернуть вокруг O , не отделяя от стола, т. е. в плоскости стола. При порывистых поворотах мы заметим смещение хлопьев относительно стенок кольца, например, относительно рези-

новой части *КМ*. Объяснить это можно следующим образом. Жидкость в трубке обладает инерцией, которую надо преодолеть, чтобы увлечь ее в круговое движение. Когда кольцо двинется, жидкость, благодаря своей инерции, не успеет за ним, будет отставать (и имеет возможность отставать, так как вдоль канала кольца она может перемещаться), т. е. она сдвинется относительно стенок кольца. И если бы стенки кольца были внутри усеяны ворсинками, то ворсинки испытали бы воздействие со стороны жидкости: они нагнулись бы вдоль потока жидкости, некоторые из них даже оторвались бы. Если бы при основании ворсинок сидели песчинки, то, увлекаясь с водой, они надавливали бы на неподвижные ворсинки.

Если мы кольцо прикрепим на круглую дощечку, а дощечку положим центром *O* на ось центробежной машины и начнем быстро вертеть, то жидкость будет сначала отставать от стенок и по инерции будет перемещаться, но затем сила трения о стенки понемногу увлекает жидкость, и скоро она усвоит такую же скорость, как и стенка канала и не будет от него отставать, т. е. сделается относительно него неподвижной. Но внезапно остановим вращение: кольцо остановилось, жидкость же некоторое время продолжает движение вдоль канала по инерции.

Если, наконец, мы наденем на резиновую трубку зажим или перетянем его шнурком, то сколько бы мы ни вращали и ни останавливали кольца, жидкость остается относительно него неподвижной: никакого сдвига не происходит. Если бы мы хотели представить модель полукружных каналов целиком, то должны были бы сделать три таких кольца и укрепить их на общей подставке в трех взаимно перпендикулярных положениях.

Теперь вернемся к настоящим полукружным каналам. Кивая головой, мы возбуждаем перемещение жидкости в сагиттальном канале. Лишь от него несутся уведомительные сигналы к мозгу об изменении положения головы, в остальных каналах жидкость неподвижна. Качая головой справа налево, мы возбуждаем сигнал лишь во фронтальном канале. Если мы качнем головой в промежуточной плоскости, то возбуждены будут оба канала — один в большей степени, другой в меньшей, и мозг получит соответствующие сигналы от обоих, и т. д.

Все это было проверено опытами над животными. Флуранс производил разрушение одного из полукружных каналов у голубя, перерезывая его или стягивая ниткой. Если, например, стянуть ниткой полукружные сагиттальные каналы обоих ушей, то у голубя после операции наблюдались своеобразные качания головы в сагиттальной плоскости, словно птица не могла отыскать удобного положения для своей головы. Если были повреждены горизонтальные каналы, то голова беспрестанно поворачивалась из стороны в сторону в горизонтальной плоскости.

После полного повреждения полукружных каналов с обеих сторон голубь лишается способности узнавать положение своего тела, появляется ненормальная вялость и слабость мышц, происходящая от отсутствия регуляции их напряжения. Мышечная слабость и недостаток регуляции видны на следующем опыте (рис. 11). При помощи воска к клюву голубя (с удаленными полукружными каналами) подвешивают на короткой нитке свинцовый шарик весом в 20 г. Шарик качается направо и налево, и голова пассивно следует за ним, совершая подобные же движения. Если запрокинуть голову с шариком назад, то голубь остается в таком положении, тогда как в здоровом

состоянии он легко преодолел бы маленькую тяжесть шарика и выпрямился бы.

Если снять с голубя шарик и надеть ему на голову колпачок, чтобы он не мог ориентироваться при помощи зрения, то голова в силу тяжести опускается вниз и остается в таком положении: голубь не имеет правильного понятия о положении своей головы.

Пробовали также и искусственно раздражать у животных полукружные каналы. При этом получались ложные сигналы, и животное реагировало на них соответственными движениями тела. Подобное искусственное раздражение (токами эндолимфы в полукружном горизонтальном канале)

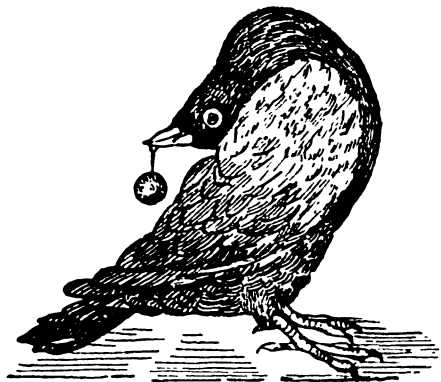


Рис. 11.

можно вызвать у себя, если быстро вращаться вокруг вертикальной оси своего тела. Эндолимфа приходит в сильное возбуждение в горизонтальном полукружном канале и вызывает сильное и длительное раздражение сигнальных аппаратов. Даже после того, как движение останавливается, продолжают поступать ложные сигналы: ¹ нам продолжает казаться, что мы вращаемся, что пол наклоняется под нами то в одну, то в другую сторону, как на палубе корабля во время качки. Желая выпрямить свое тело при этой кажущейся качке, мы на самом деле шатаемся на совершенно

¹ Сравните это с перевозбуждением сетчатки глаза, когда вы неосторожно взглянете на солнце: вам долго после этого чудятся разноцветные кружки перед глазами.

неподвижном полу: ложные сигналы вводят нас в заблуждение. То же бывает, если долго качаться на качелях. Все эти ощущения представляют пример галлюцинаций, искусственно вызванных.¹

В аппарате уха мы имеем любопытное сочетание различных отправлений: полукружные каналы являются органом равновесия, а не органом слуха. Есть, впрочем, мало проверенное указание на то, что при помощи их мы можем получать грубые или смутные ощущения звука, например, шумы. Во всяком случае, в восприятиях звука они заметной роли не играют.

Улитка.

Где же все-таки находится орган восприятия всей полноты звуковых впечатлений? Единственное его место — в улитке, и он там, действительно, находится. Улитка — самая трудная для исследования часть лабиринта. Она мала и в то же время имеет очень тонкое и очень сложное строение. Мы не будем здесь вдаваться в подробное описание этого устройства, укажем лишь на самое существенное.

Спиральный ход улитки разгорожен перегородкой на два этажа: верхний, обращенный к вершине улитки, и нижний, обращенный к ее основанию.² Вот в этой перегородке и в тех воспринимающих аппаратах, которые на ней расположены, все дело.

¹ Галлюцинацией называется самообман чувств вследствие неправильной работы органов или заболевания центральной нервной системы. Например, нам кажется, что мы слышим музыку или чью-то речь, хотя на самом деле никаких речей и музыки не слышно, или ощущаем прикосновение к телу чьей-то руки, хотя рядом никого нет, и т. п.

² Улитка представляет собой не плоскую спираль, подобно часовой пружине, а спираль восходящую, с широким основанием и узкой вершиной.

Назовем осью улитки ту воображаемую линию, которая идет от середины ее основания к вершине, и вокруг которой навиты ее обороты. Так вот, со стороны оси входят в завитки улитки нервы (сквозь тончайшие каналы в костном веществе) и разветвляются вдоль всей перегородки, при чем каждое отдельное нервное волокно оканчивается у какого-нибудь воспринимающего аппарата на перегородке, а таких аппаратов в улитке десятки тысяч.

На рис. 12 показана грубая схема распиленной по оси улитки и показано распространение по ее завиткам слухового нерва.¹

На этом же рисунке вы видите, что со стороны оси в каждый завиток входит перегородка, которая далее раздваивается (на поперечном разрезе раздваивание представляется вилочкой).

Перегородка эта состоит из костной части (ближе к оси улитки) и эластической, состоящей из собрания упругих волоконцев (как бы струн), натянутых в поперечном направлении хода улитки, а не в продольном. Если мы начнем двигаться внутри канала от основания улитки к ее вершине, то

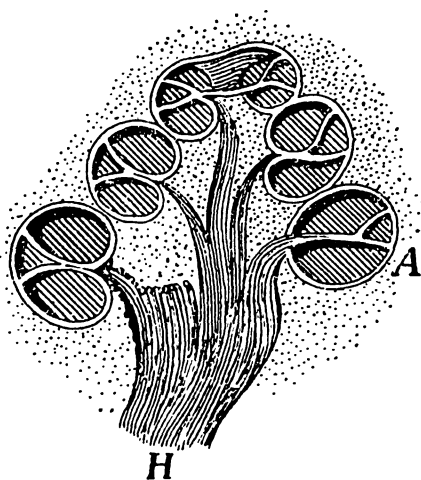


Рис. 12.

¹ Следует иметь в виду, что слуховой нерв не есть один нервный ствол или один единственный проводник, а представляет собой пучок множества тончайших нервных волоконцев. Нерв, таким образом, можно сравнить с электрическим кабелем.

заметим, что костная часть перегородки делается все уже и уже, а эластичная все шире; на некотором протяжении перегородка состоит из одних лишь эластических волокон.¹ Таким образом, эластичная часть все уширяется к вершине улитки, и недалеко от вершины она примерно в двенадцать раз шире, чем у основания.

Мембрана.

Эластическая (перепончатая) часть улиточной перегородки носит название основной мембраны. Основ-

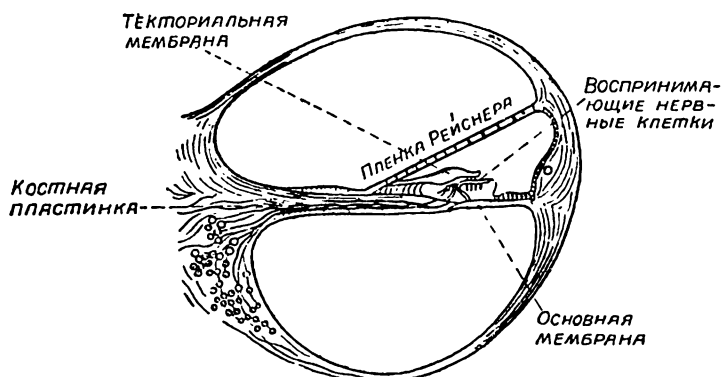


Рис. 13.

ная мембрана не доходит до самой вершины улитки: при вершине имеются небольшие отверстия, через которые верхний этаж хода сообщается с нижним.

Теперь познакомимся с некоторыми подробностями устройства перегородки. Для этого представим один из завитков улитки (например А, рис. 12) в увеличенном виде.

Здесь мы видим костную пластинку (рис. 13),

¹ Длина этих волоконцев, или „струн“, очень мала: наибольшая длина их 0,495 мм, а наименьшая — 0,041 мм. Отношение наибольшей длины к наименьшей близко к 12.

которая вдаётся в ход улитки слева, т. е. со стороны оси улитки. Костная пластинка не идет во всю ширину хода и дополняется эластическим волокном (совокупность эластических волокон называется основной мембраной).

Кортиевы струны.

Будем называть эластические волокна Кортиевыми струнами, по имени открывшего их ученого. На

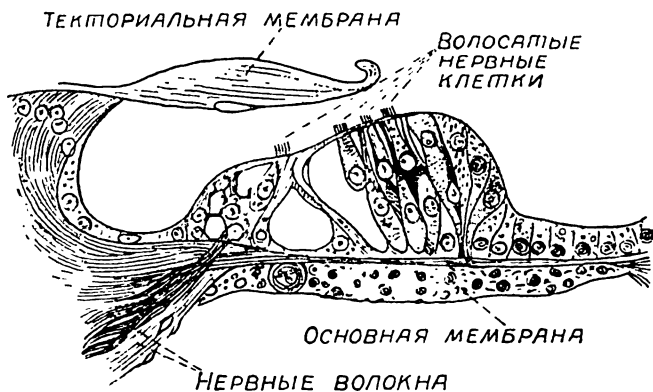


Рис. 14.

Кортиевой струне мы видим воспринимающий аппарат, состоящий из нескольких вертикально поставленных нервных клеточек; к основанию каждой клеточки подходит особое нервное волокно (разветвление слухового нерва). На вершине нервных клеточек имеются группы ворсинок, как бы волоски; поэтому нервные клетки получили название волосатых. На рис. 14 представлена в увеличенном виде основная пластинка вместе с находящимися на ней нервными волосатыми клеточками. Над клеточками нависает булавовидный волокнистый придаток. Совокупность этих придатков тянется наподобие карниза над всеми волосатыми клеточ-

ками и образует собою так называемую текториальную мембрану. Если какая-нибудь Кортиева струна начинает колебаться вверх и вниз, то волоски клеток касаются соответствующего им булавовидного придатка, и тогда клетки получают раздражение, которое передается по их нервным волокнам в мозг и служит для образования в мозгу звукового ощущения.

Нервные волосатые клетки должны сохранять неизменно свое направление; если бы они поникли, то и отправления их прекратились бы. От поникания их предохраняет соседство других клеточек (см. рис. 14), а также тончайшая перепонка, через которую просунуты их верхние концы с волосками. Каждая волосатая клетка напоминает собою как бы маленькую пробирку, вставленную в штатив для пробирок. Штатив для пробирок представляет собою, как известно, ящик (передняя и задняя стенки которого удалены), в крышке которого сделаны круглые прорезы для вставления пробирок. Пробирка вставляется в это отверстие, упираясь основанием в дно штатива. Нечто подобное мы видим и в установке волосатых клеточек. Здесь „крышке“ штатива соответствует тончайшая перепонка (см. рис. 14), через которую выставляются их концы с волосками. Бокам штатива здесь соответствуют клеточки, на которых покоится поддерживающая перепонка („Кортиевы стропильца“), а дну — Кортиева струна.

Кортиев орган.

Весь этот сложный аппарат, вся совокупность „Кортиевых струн“, нервных клеток, текториальная мембрана — все называется Кортиевым органом.

Мы описали отдельное Кортиево волокно или отдельную „Кортиеву струну“ с ее воспринимающими аппаратами; таких „струн“ находится по длине улитки

от 15 000 до 23 000, при чем длина их все увеличивается от основания улитки к ее вершине. „Струны“ слабо связаны между собою, так что каждое волоконец способно колебаться независимо от других. Не забудем, что со всех сторон они окружены эндолимфой.

Над Кортиевым органом протянута, словно полукрытая крышка рояля, нежная Рейснерова пленка. Она служит покровом и в получении звукового возбуждения роли не играет.

Весь Кортиев орган напоминает нам струнный строй рояля или арфы. Подобно тому как при игре на арфе или на рояле в действие приводятся не все струны разом, а звучат лишь некоторые, но зато их сочетанием и последовательностью достигается бесконечно большое разнообразие игры, так и при распространении сотрясений через овальное окно на эндолимфу не все Кортиевы струны сотрясаются и посылают возбуждение в мозг, а лишь некоторые (смотря по роду получаемых сотрясений). Таким образом, сочетание различных колеблющихся Кортиевых струн дает в мозгу сочетание бесконечно разнообразных возбуждений, т. е. обуславливает то богатство звуковых ощущений, которое справедливо вызывает в нас такое большое удивление.

Но почему же при сотрясении эндолимфы сотрясаются не все Кортиевы струны зараз, а лишь некоторые? Это объясняется явлением отзывчивости. Кортиевы струны имеют, оказывается, различную настроенность: отзываются на сотрясение эндолимфы лишь те Кортиевы струны, собственные колебания которых соответствуют колебаниям эндолимфы.

Поясним это на простом опыте. Подвесим на рамке КМ несколько маятников — *a*, *b*, *c*, *d*, *e* разной длины (рис. 15). Рамка поставлена на пол в слегка наклонном положении и удерживается от падения ниткой, привязан-

ной к крючку, ввинченному в стену. Дав маятникам успокоиться, начнем, слегка задевая пальцем за нитку, ритмически покачивать рамку *КМ*. Пусть ритм колебаний рамки случайно совпал с ритмом собственных колебаний какого-нибудь маятника, например, *d*. Тогда только этот маятник сильно раскачается, остальные же будут пребывать в сравнительном покое или же, начав колебаться, тотчас приостановятся.¹ Иногда случается раскачать сильно два маятника, остальные же не отзываются на качания рамки. В этом опыте рамка соответствует эндолимфе, а маятники — Кортиевым струнам.

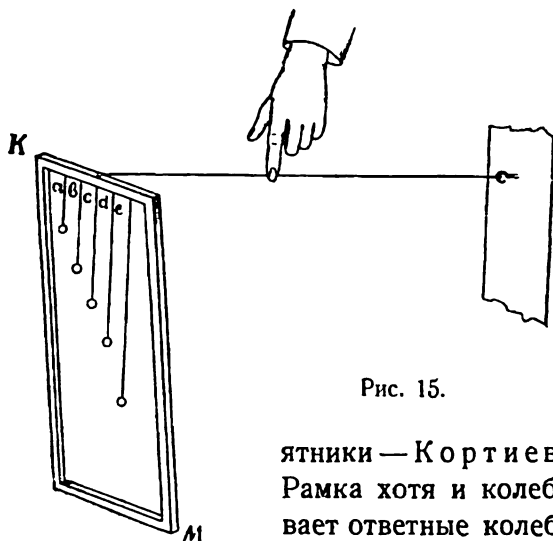


Рис. 15.

Рамка хотя и колеблется, но вызывает ответные колебания не во всех маятниках, а лишь в тех, собственные колебания которых соответствуют качаниям рамки. Те же рассуждения мы применяем и к эндолимфе и Кортиевым струнам.²

¹ Практический прием для того, чтобы маятник *d* сильно раскачался, заключается в том, чтобы следить глазами за его начавшимися колебаниями и качать рамку в такт его колебаниям, не обращая внимания на остальные маятники. Опыт эффектнее, если сообщать рамке едва заметное качание.

² Будем помнить, что этот опыт лишь аналогия и что слишком далеко сравнение маятников со струнами Корти проводить нельзя.

Сообразно с этим мы представляем механизм распространения сотрясений через Кортиев орган так. Пусть овальное окно получает очень медленное сотрясение (10—15 в секунду), такое, что ни одна из Кортиевых струн на них не отзывается. В таком случае сотрясение жидкости, полученное от перепонки овального окна, следует по всему верхнему этажу улиточного хода, достигает вершины улитки, там через отверстие и через нижний этаж хода переходит к круглому окну и здесь угасает. Ни один из Кортиевых органов не отзывался на колебания, а потому не получилось никакого звукового слитного восприятия. Если же овальное окно получает большее число сотрясений, например, 50 в секунду, то среди Кортиевых волокон (расположенных ближе к вершине улитки) отыщутся такие, которые могут отозваться своими колебаниями на колебания эндолимфы. Это мы можем проследить на прилагаемой грубой схеме уха (рис. 16), где улитка для наглядности представлена выпрямленной, при чем вдоль неё тянется основная пластинка с текториальной мембраной и основной мембраной. Итак, пусть Кортиево волокно, воспринимающее 50 колебаний в секунду, находится на линии *bc*. В таком случае сотрясение эндолимфы (также совершающее 50 колебаний) приведет в сотрясение именно это волокно, через него сотрясение передается в нижний ход улитки и доходит до круглого окна. Мы видим, что здесь сотрясение эндолимфы находит себе сокращенный путь, означенный пунктиром *abcd*, верхняя же часть эндолимфы от *b* до *e* и от *e* до *c* останется неподвижной. Вместе с тем от нервных клеток *bc* будет послано в мозг соответствующее возбуждение, которое преобразовывается в мозгу в ощущение, а именно в ощущение басового, низкого звука (в особен-

ности, если звук длится). Предположим, что ухо получает длительные импульсы от звучащего камертона (50 колебаний в секунду). В таком случае мы имеем в улитке длительное колебание столбиков эндолимфы ab и dc , между которыми включена также колеблющаяся Кортиева струна на пути bc .

Если тон еще повысится, то сотрясения в эндолимфе изберут себе еще более сокращенный путь из верхнего хода улитки в нижний по линии kt (рис. 16), так что

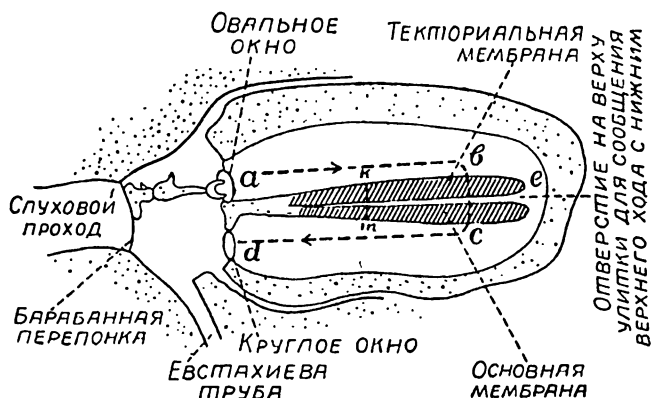


Рис. 16.

сотрясаться будет столбик эндолимфы от a до k и от t до d и включенная между ними Кортиева струна, от которой мозг получит возбуждение отличное от того, которое он получил от bc , а именно — в мозгу возникнет ощущение более высокого тона.

Таким образом, части Кортиева органа, расположенные ближе к основанию улитки, воспринимают более высокие тона, а расположенные у вершины — более низкие. Это было подтверждено в 1925 году опытами Хельда и Клейнхнехта. Названные ученые производили в улитке морской свинки ничтожное повреждение, а

именно, просверливали отверстие диаметром в 0,1 мм с таким расчетом, чтобы не повредить слуховых нервов, а лишь ослабить натяжение какого-нибудь участка основной мембраны путем ее разрыва. После этого у свинки исчезало ощущение определенной высоты тона, так как воспринимающий его аппарат был разрушен.¹ Просверливание улитки ближе к основанию давало выпадение высоких тонов, ближе к вершине — низких.

4. ОСОБЕННОСТИ НАШЕГО СЛУХА.

Музыкальный слух.

Зная устройство и отправление Кортиева органа, мы можем объяснить некоторые особенности наших слуховых восприятий. Так, существуют люди, обладающие музыкальным слухом, т. е. способные отличить одну от другой две соседние ноты или тон от полутона, и есть люди, не обладающие этой способностью. Но способность различения близких тонов сводится к способности двух соседних Кортиевых волокон колебаться раздельно: когда одно из них колеблется, другое остается в покое, и наоборот. Значит в подобной звуковой мембране струны имеют слабую боковую связь, способность раздельного их колебания обуславливает наличность тонкого музыкального слуха. Если же основная мембрана грубая и неподатливая, то она будет приходить в колебание целыми участками: ее большая слитность и неподатливость не позволит выделиться отдельным колебаниям волокон; поэтому, какой-нибудь тон вызовет одинаковое колебание нескольких соседних участков основной мембраны, возбудит не одно, а много соседних нервных волокон, а это и значит,

¹ Исчезновение тона доказывалось по т. н. методу условных рефлексов.

что ухо неспособно различать звуков, разделенных, как говорят музыканты, большими интервалами. Чтобы развить музыкальный слух, следует предпринять „обработку“ звуковой мембраны. Это достигается систематическими занятиями с правильно настроенными музыкальными инструментами, например, роялем. Мембрана, получая часто однообразные и длительные воздействия, становится более гибкой и податливой. Повидимому, при этом ослабляется связь между соседними Кортиевыми струнами, они получают способность колебаться независимо от соседних, другими словами — развивается постепенно тонкий музыкальный слух. Все это очень напоминает „обыгрывание“ музыкальных инструментов. Как известно, качества скрипки, попавшей в руки музыканта-виртуоза, с годами улучшаются: пучки древесных волокон резонирующего корпуса скрипки также приобретают гибкость, податливость, и боковая связь между ними несколько ослабляется.

Пределы слышимости.

Строение Кортиева органа объясняет нам еще одну особенность, а именно пределы слышимости. Число Кортиевых струн ограничено (15 000 — 23 000). Поэтому, должны существовать такие колебания, которые не ощущаются мозгом: для восприятия их не хватает соответствующих волокон. Существуют два предела слышимости: низший и высший. Обыкновенное (не музыкальное ухо) не воспринимает тонов, дающих ниже 32 колебаний в секунду. Например, 12 колебаний в секунду ощущается как ряд отдельных толчков, а не как слитный музыкальный тон. Также и к звукам выше 15 000 колебаний в секунду ухо становится (в очень резкой форме) менее чувствительным

и за пределом 15000 колебаний теряет способность различать высоту тона. Повидимому, в Кортиевом органе не имеется волокон, настроенных выше, чем на 15000 колебаний в секунду. Кроме того, для возбуждения высоких колебаний имеется препятствие в иерции эндолимфы, сопротивление которой возрастает прямо пропорционально частоте колебаний.

Верхний предел слышимости объясняется еще следующим соображением. При большой частоте тона, скажем 20000 колебаний в секунду, длина волны достигает всего лишь 6 мм. Барабанная перепонка стоит, как известно, наискосок к оси слухового канала. Поэтому, по длине косо стоящей барабанной перепонки укладывается почти целая звуковая волна, а потому отдельные ее части, например верхняя и нижняя, будут испытывать в один и тот же момент прямо противоположные воздействия: если к верхней части прилегает сгущенная часть полуволны, перепонка стремится подвинуться внутрь; в то же время к нижней части прилегает разреженная часть полуволны — и перепонка стремится подвинуться наружу. В результате оба стремления взаимно уравниваются, движение не будет передано на слуховые косточки и ухо не воспримет звука.

Верхняя граница слуха выше у детей. У пожилых же людей она с возрастом понижается в связи с постепенным ослаблением слуха. Часто во время прогулки старик не замечает стрекотания кузнечиков, которым, кажется, наполнен весь воздух над лугом, между тем как его малолетний внук прекрасно их слышит. Интересно, что при этом старик может сохранить хорошую восприимчивость на звуки средней частоты.

Следует отметить необыкновенную чувствительность нашего уха. Так, например, вычислено,

что звук от пушечного выстрела сообщает молекулам воздуха, отстоящим на 1 м от дула, сотрясательное движение с размахом всего в $1/4$ мм. Такое сотрясение воздуха воспринимается ухом как оглушительное. На расстоянии 2 м от громко поющего человека частицы воздуха колеблются с размахом в $35/10\,000$ мм: это воспринимается ухом, как очень громкий звук. Размахи частиц, возникающие около самого рта говорящего человека, ничтожны; с распространением на дальнейшее расстояние они еще уменьшаются: Но если они уменьшаются даже в сто тысяч раз, то и тогда ухо отчетливо различает все сказанные слова. Мы видим, что чувствительность уха прямо поразительна и стоит почти на одном уровне с чувствительностью глаза, возбуждаемого также ничтожными количествами энергии.

Определение направления звука.

Рассмотрим еще одну особенность нашего слуха, остававшуюся неразгаданной до недавнего времени, это — способность различать направление звука.¹

Было известно лишь, что для правильного определения направления звука необходима наличность двух здоровых ушей. Люди, страдающие глухотой на одно ухо, не могут точно определять направление звука. Неспособность ориентироваться в направлении звуков является серьезным недостатком.

Ученые Горнстобель и Вертгеймер выяснили, что способность различать направление звука зависит от неодновременного раздражения звуком правого и левого ушного аппарата. Прибор, которым они пользовались

¹ Человек способен оценить по слуху отклонение звука от средней плоскости на величину 3° .

при своих наблюдениях, состоял из двух трубок *A* и *B* одинаковой длины (рис. 17); из них трубка *A* раздвижная. Обе трубки оканчиваются воронками, расположенными на расстоянии 20-21 см одна от другой, т. е. на таком же расстоянии, как человеческие уши. Между воронками помещался какой-нибудь источник звука, дающий резкие, отрывистые звуки, например, молоточек электрического звонка *C*. Другие концы трубок оканчиваются резиновыми трубками, концы которых можно вставлять в уши. Если длина трубок одинаковая, то звуки, вступая одновременно через правую и через левую воронку, достигают ушей одновременно: мы слышим звук впереди себя. Но как только трубка *A* раздвигается, удлиняясь на 1 см, звук ясно смещается вправо, потому что он доходит сперва до правого уха, а к левому запаздывает и запаздывание составляет всего $\frac{3}{100000}$ секунды.¹ Если же удлинить колено *A* до 20 см, то звук слышен справа: кажущееся отклонение достигает величины 90°.

На основе этих опытов построены особые сложной конструкции приборы, позволяющие определить направление звука с точностью до $\frac{1}{2}^\circ$ и меньше.

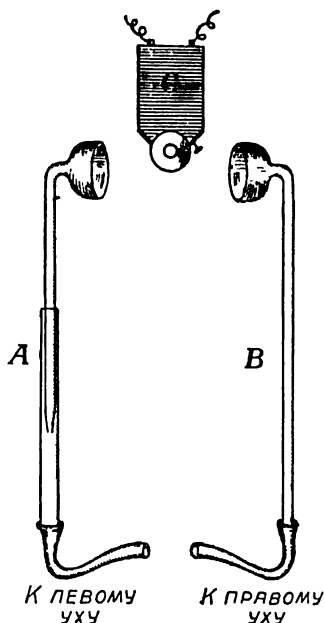


Рис. 17.

¹ Величину запаздывания легко вычислить, зная скорость звука — 32 метра в секунду.

Тембр.

Одной из поразительных особенностей нашего уха является способность различать разнообразные оттенки звука, иначе — тембр. Например, гитарная струна и струна скрипичная могут звучать в унисон, совершая одинаковое количество колебаний в секунду, однако по тембру мы их никогда не спутаем.

Причиной звукового оттенка или тембра являются побочные тоны, сопровождающие основной тон. Эти призвуки или обертоны, присоединяясь к звучанию основного тона, дают ему тот или иной оттенок.

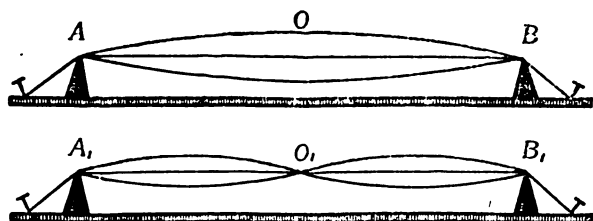


Рис. 18.

Можно на простом опыте показать, что, например, колеблющаяся струна совершает сложные колебания, т. е. что к ее основному тону примешивается обертон.

Натянем вдоль доски на двух кобылках струну AB (рис. 18) и приведем ее в колебательное движение. Струна звучит, давая некоторый тон, например la_3 , что соответствует 435 колебаниям в секунду. Она имеет вид веретена. Неподвижные точки струны A и B носят название узлов, а подвижная средняя часть — пучности. Для нашего глаза пучность струны представляется веретеном.

Отметив заранее положение середины струны, приво-

дим ее в колебательное движение и на момент прикасаемся к середине ребром карты. Этим мы задерживаем колебание струны. Казалось бы звук должен прекратиться, но нет: он длится, но только он на октаву выше и слабее по силе.

Тон на октаву выше дают колеблющиеся половинки струны (рис. 18 внизу). Происхождение этих колебаний мы можем объяснить так: они были налицо и при колебаниях струны *AB*, но маскировались более громким звуком этой струны,¹ и потому их трудно было подметить ухом. Однако, они оказали свое влияние: сопутствуя основному тону, они сообщили звуку оттенок (тембр). Следовательно, надо думать, что струна в одно и то же время колеблется и как целое, и своими половинками (а, может быть, третями и четвертями). Когда мы прикладываем карту к струне, карта приходится на пучности главного колебания и потому задерживает его. Но в то же время карта приходится в узле звучащих половинок струны, а потому и не останавливает их колебания. Когда такое сложное колебание доходит через наружное и среднее ухо до Кортиева органа, то здесь возбуждаются соответствующие Кортиевы волокна: кроме того волокна, которое возбуждается на главный тон, возбуждаются еще волокна, настроенные на обертоны. Таким образом, ухо вскрывает сложность дошедших до него вибраций и распределяет их в ряд простых. Улитка здесь выполняет работу, аналогичную призме, разлагающей сложный цвет на простые.

В опыте со струной можно выставить такое возражение: можно предположить, что лишь внешнее грубое вмешательство (накладывание карты) вызвало по-

¹ Основной тон струны определяется по этим главным колебаниям.

бочные звучания: струна, наткнувшись на карту, оставалась и раскачалась своими половинками лишь начиная с этого момента.

Резонанс.

Чтобы устранить это возражение, следует прибегнуть к помощи резонаторов. Примером воздушного резонатора может служить ламповое стекло (рис. 7), усиливающее звуки камертона. Если мы возьмем несколько камертонов, например do_3 , re_3 , mi_3 , то для каждого из них понадобится особый резонатор (тоже в виде цилиндра или лампового стекла со столбом заключенного в нем воздуха, который, собственно, и является резонатором). Чем выше тон, тем короче будет резонирующий для него воздушный столб.

Если мы возьмем резонатор для камертона do_3 и станем держать над его отверстием все три звучащих камертона, то резонатор все-таки откликнется на колебания лишь одного из них и громко зазвучит, давая тон do_3 . Таким образом, мы выделяем резонатором из хаоса звуков определенный тон, пользуясь явлением отзывчивости.¹

Резонаторам придают более удобную форму в виде шаров разных размеров, имеющих два отверстия: широкое и узкое (рис. 19). Широкое мы обращаем к источнику звука, узкое вставляем в слуховой проход. Каждый резонатор имеет собственный тон; это мы можем обнаружить, продувая наискосок перед отверстием резонатора узкую струю воздуха. Струя воздуха, разбиваясь о край отверстия, порождает множество раз-

¹ Явления отзывчивости часто именуются явлениями резонанса. Собственно, резонансом правильнее назвать комнатное эхо.

ных колебаний, наподобие того, как волна прибоя, разбиваясь об утес, порождает множество водяных волн, длинных и коротких. Но из этой совокупности колебаний найдется такое, которое приведет в качение воздух в резонаторе, и так как точки будут повторяться и будут соразмерными, то воздух в резонаторе раскачается и мы услышим звук — собственный тон резонатора. Обладая своим тоном, резонатор отзывается на колебания всяких звучащих тел, имеющих такие же колебания: он звучит в ответ им. Выслушивая при помощи многих резонаторов колеблющуюся струну, можно открыть в ней наличность слабых обертонов. Надо лишь подобрать соответствующий им резонатор. Он усилит слабый звук обертона настолько, что мы услышим его, несмотря на громкий звук основного тона. При этом мы несколько не стесняем главных колебаний.

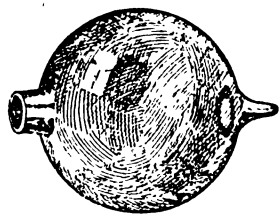


Рис. 19.

Высоту тона струны или какого-нибудь духового инструмента мы определяем по числу колебаний главного (самого громкого) или основного тона. Исследования показывают, что простые тоны (без обертонов) встречаются редко. Их могут давать камертоны.

Анализ и синтез звуков.

Резонаторы, как мы видим, служат для анализа звуковых колебаний. Но Гельмгольцу удалось при помощи резонаторов произвести синтез разных звуков, в том числе синтез гласных звуков человеческой речи. Прибор, которым пользовался Гельмгольц, изображен на рис. 20.

Представим, что мы тянем голосом с одной и той же силой и в одном и том же тоне разные гласные буквы (а, е, о, у). Анализируя помощью коллекции гельмгольцевских резонаторов состав и силу звучаний, мы определим состав этих сложных звуков, узнав, из каких простых они составлены, и определим силу обертонов.

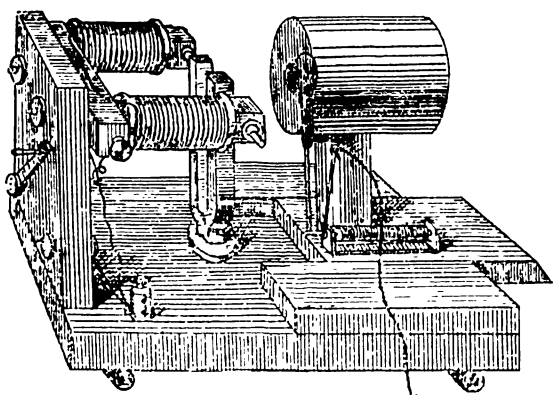


Рис. 20.

Можно решить обратную задачу: зная состав сложного звука, получить его из отдельных простых звучаний, т. е. произвести синтез звука.

Гельмгольц воспользовался для синтеза гласных звуков

следующим прибором: у него были взяты 12 камертонов, числа колебаний которых находились в следующих соотношениях:

$$1:2:3:4:5:6:7:8:10:12:14:16.$$

Каждый камертон приводился в непрерывное колебательное движение помощью электромагнита, между полюсами которого помещались его ножки (см. рис. 20). Против камертона помещался резонатор, усиливающий звук камертона. Для усиления и уменьшения звука от этой установки можно было прикрывать заслонкой отверстие резонатора, придвигать его и отодвигать. После многочисленных проб, подбирая сочетание камертонов и меняя силу их звука, Гельмгольц получил

на своем приборе звуки, совершенно напоминающие гласные.

Например, состав гласной А оказался следующий:

1, 2, (3), 4, 5, (6), (7), 8.

Буквы О:

1, (2); ((3)); (4); ((5)).

Подчеркивание означает усиление звука соответствующего камертона, а заключение в скобки — ослабление.

Самый чистый звук получается от буквы У:

1, (((2))), ((3)), (((4))).

Очень хорошо можно получить синтез гласных на звуках рояля. Для этого поднимем крышку рояля, поднимем так называемый демфер или глушитель, налегающий на струны рояля (для этого надо нажать на правую педаль), громко пропоем какую-нибудь гласную. Сложный звук, состоящий из основного тона и его обертонов, достигая до струн рояля, возбуждает колебания тех из них, которые настроены в униссон с главным тоном и его призвуками. „Ответ струн“ по силе соответствует силе отдельных обертонов. В результате рояль своими струнами воспроизводит гласную со всеми особенностями. Так что если мы внезапно оборвем пение, мы ясно услышим звук гласной, исходящий из струн. По способности возбуждаться колебаниями мы можем сравнить струнное снаряжение рояля с основной мембраной улитки. Разница в том, что на рояле колебания длятся после того, как породивший их звук прекратился, на основной же мембране колебания волоконцев мгновенно прекращаются, как только перестает колебаться эндолимфа.

Голосовые связки.

В создании тембра человеческого голоса принимают участие голосовые связки, колебания которых усиливаются резонансом грудной полости. Далее, возможные оттенки приносятся другими резонаторами: полостью рта и носа, Гаймеровыми полостями, лобной пазухой и даже зубами. Для получения красивого и богатого оттенками человеческого голоса требуется сочетание многих благоприятных условий (здесь играет роль строение голосовых связок, форма ротовой и носовой полости). Сочетание это встречается не особенно часто. Заметим, что звук одиночных голосовых связок был бы очень слаб, если бы не было резонаторов. Мы можем проделать следующий опыт. Возьмем гортань мертвого гуся и, надев ее на трубку соответствующей ширины, станем продвигать через нее воздух. Гортань зазвучит, но как будет отличаться по силе этот звук от гусяного гоготанья!

Подобно этому, в музыкальных струнных инструментах огромное значение играет дека (деревянная подставка, на которой натянуты струны), вообще все, что наиболее усиливает звуки. Если мы натянем скрипичные струны между двумя гвоздями, которые будем держать в руках (опыт надо вести двоим) и проведем по струне смычком, то поразимся слабости этого звука, плохо слышимого даже на малом расстоянии, даже если струна натянута с такой же силой, как на скрипке. Между тем, когда струны звучат на самой скрипке, то звуки ее наполняют громадный концертный зал. Здесь звучит так громко резонатор, колебания которого возбуждаются колебаниями струн. Резонатором является дека, кузов инструмента, и воздух, заключенный в кузове. До какой степени усиливается звук вследствие

резонанса, показывает следующий опыт. Если мы приведем камертон в колебательное движение, то звук его скоро замирает. Дождавшись, когда звук едва слышен, приложим и крепко прижмем рукоятку камертона к поверхности стола, с которого снята скатерть. Звук усиливается во много раз. Если мы возьмем два одинаковых камертона, вызовем в них звуки одинаковой силы и один из них приложим на некоторое время к поверхности стола, а затем отделим и сравним силу их звучаний, то окажется, что тот из них, который побывал в соприкосновении со столом, звучит слабее и замрет раньше другого: он значительную часть своей колебательной энергии употребил на сообщение колебательного же движения волокнам дерева за время соприкосновения.

Мы ознакомились в кратких чертах с устройством слухового аппарата. Мы видим, что по сложности своего устройства, по изумительной чувствительности и по богатству даваемых ощущений, ухо мало отличается от глаза.¹ Мы не затронули, за недостатком места, очень важной области звуковых впечатлений — музыку. Музыка по своему значению аналогична живописи, но затрагивает сильнее наши чувства и сильнее волнует, чем живопись.

Служебное значение органа слуха огромно и уступает лишь органу зрения. Но это потому, что глаз реагируя на световые лучи, безмерно увеличивает наши сведения об окружающем мире, и „радиус действия“ глаза несравненно больше, чем уха, — достигая до размеров видимой вселенной. В этом смысле зрение можно назвать вселенским или космическим чувством, между тем как слух — чисто земное чувство, с неболь-

¹ О глазе см. книгу М. Ю. Пиотровского „Глаз“.

шим радиусом действия, однако вполне достаточным для того, чтобы могло возникнуть важнейшее орудие общения людей — человеческая речь.

ЛИТЕРАТУРА.

Тем из читателей, которые пожелали бы расширить объем своих сведений об ухе, рекомендуем следующие книги:

1. Тиндаль. Звук.
 2. Брегг. Мир звука.
 3. П. Беликов. Речь и слух.
 4. А. Ирисов. Звук и музыка.
 5. В. Зернов. Биография Гельмгольца.
 6. Успехи акустики за 10 лет („Успехи физических наук“, 1918, № 2).
 7. Н. Андреев. Острота слуха (Журн. Прикл. физ. Т. I, 1924).
 8. С. Ржевский. Слух и речь в свете современных исследований („Успехи физических наук“. Т. VII, вып. 3 — 4).
-

СОДЕРЖАНИЕ.

	Стр.
1. Органы чувств, как сигнальные аппараты	3
2. Значение слуха в жизни человека и животных	6
3. Строение слухового аппарата	11
Наружное ухо	16
Ушная раковина	—
Слуховой проход	20
Среднее ухо	22
Барabanная перепонка	—
Косточки	26
Евстахиева труба	27
Внутреннее ухо	30
Полукружные каналы	31
Улитка	38
Мембрана	40
Кортиевы струны	41
Кортиев орган	42
4. Особенности нашего слуха	47
Музыкальный слух	—
Пределы слышимости	48
Определение направления звука	50
Тембр	52
Резонанс	54
Анализ и синтез звуков	55
Голосовые связки	58
Литература	60

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО РСФСР
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ЕСТЕСТВОЗНАНИЮ
для учащихся школ II ступени и рабфаков
АНАТОМИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, ГИГИЕНА

Е. АРКИН

Ч Е Л О В Е К

Учебная книга для школ II ступени

Стр. 276.

Ц. 1 р. 50 к.

Книга может служить хорошим пособием для самообразования

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Стр. 245.

Ц. 1 р. 50 к.



В. ИГНАТЬЕВ

БИОЛОГИЯ ТРУДЯЩЕГОСЯ ЧЕЛОВЕКА

Стр. 260.

Ц. 1 р. 60 к

Указанное руководство представляет большой интерес в том отношении, что оно полно охватывает вопросы, касающиеся человека в разрезе — человек как рабочая машина, — и по содержанию соответствует запросам современной школы.



М. А. БУБЛИКОВ

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ТРУДА

Стр. 340.

Ц. 2 р. 75 к.



А. Н. КАБАНОВ и М. Я. ЦУЗМЕР

**РАБОЧАЯ КНИГА ПО ФИЗИОЛОГИИ
ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ТРУДА**

Стр. 344.

Ц. 2 р.

ПРОДАЖА ВО ВСЕХ МАГАЗИНАХ И ОТДЕЛЕНИЯХ ГОСИЗДАТА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО РСФСР

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

БИБЛИОТЕКА „В ПОМОЩЬ ШКОЛЬНИКУ“

СЕРИЯ ПО ЕСТЕСТВОЗНАНИЮ

Под общей редакцией А. А. Яхонтова.

Допущено Гусом для школ II ступени

А. Ф. БЮЛЛЬ

БОЛОТА И ТОРФ

Задачи по изучению болот и использованию торфа

Стр. 72.



Ц. 40 к.

И. М. МИНИН

ОГОРОД

Овощные растения и их биологическое изучение

Редакция И. Н. Соколова

Стр. 222.



Ц. 1 р.

И. Б. ЯХИНСОН

(сост.)

ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Книга для чтения

Стр. 190.



Ц. 1 р.

Проф. П. Ю. ШМИДТ

ДОМАШНЯЯ ПТИЦА И ЕЕ ИСТОРИЯ

Стр. 111.

Ц. 50 к.

Автор знакомит читателя со строением птиц, останавливается затем на взаимоотношениях птиц и человека (приручение птиц) и затем дает ряд очерков, посвященных отдельным видам птиц (куры, индейки и цесарки, утки и гуси, голуби и канарейки).

ПРОДАЖА ВО ВСЕХ МАГАЗИНАХ И ОТДЕЛЕНИЯХ ГОСИЗДАТА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО РСФСР
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

УЧЕБНИКИ ПО ФИЗИКЕ И МЕТЕОРОЛОГИИ

- Бачинский А. — Сборник вопросов и задач по элементарной физике. Стр. 200. Ц. 1 р. 25 к.
- Бачинский А. — Учебник физики на производственной основе. Часть I. Механика. Твердые тела. Жидкости. Газы. Теплота. Стр. 182. Ц. 1 р.
- Часть II. Колебания и волны. Оптика. Электричество. Стр. 176. Ц. 1 р. 10 к.
- Бачинский А. — Физика. В трех книгах.
- Книга 1. Механика, теплота, химия, метеорология. Стр. 276. Ц. 1 р. 75 к.
- Книга 2. Учение о звуке. Учение о свете. Стр. 152. Ц. 1 р.
- Книга 3. Электричество и магнетизм. Стр. 240. Ц. 1 р. 50 к.
- Григорьев Г., Знаменский П. и Кавун И. — Практические занятия по физике. Для учащихся в средней школе. Стр. 224. Ц. 1 р. 50 к.
- Жарков С. Н. — Рабочая книга по метеорологии. Выпуск I. Допущ. Гусом для школ II ступени и школ крестьянской молодежи. Стр. 264. Ц. 2 р.
- Красиков Ф. — Физика для крестьянской молодежи, сельскохозяйственных школ и курсов. Ч. I и II. Стр. 196. Ц. 1 р. 20 к. Ч. III. Солнечные лучи и земледелие. Стр. 116. Ц. 75 к.
- Модестов А. и Дюрнбаум Н. — Рабочая тетрадь для лабораторных занятий по физике. Тетрадь может быть использована профшколами, профкурсами, рабфаками, школами ФЗУ, крестьянской молодежи и II ступени. Стр. 128. Ц. 70 к.
- Модестов А. и Дюрнбаум Н. — Учебник физики. (Учебные пособия для школ фабзавуча и профшкол.) Стр. 250. Ц. 1 р. 75 к.
- Перельман Я. И. — Физическая хрестоматия.
- Вып. I. Механика твердых, жидких и газообразных тел. Стр. 168. Ц. 45 к.
- Вып. II. Теплота. Стр. 168. Ц. 50 к.
- Вып. III. Звук и волнообразное движение. С 32 рис. Стр. 106. Ц. 50 к.
- Вып. IV. Свет и оптические приборы. С 40 рис. Стр. 174. Ц. 65 к.
- Пиотровский М. — Физика в природе и сельском хозяйстве. Стр. 312. Ц. 1 р. 50 к.
- Фридман В. Г. — Физика для школ фабзавуча и профшкол.
- Часть I. Первый год обучения. Стр. 128. Ц. 80 к.
- Часть II. Второй год обучения. Стр. 148. Ц. 1 р.
- Часть III. Третий год обучения. Стр. 132. Ц. 90 к.
- Цингер А. В. — Задачи и вопросы по физике. Стр. 304. Ц. 2 р.
- Цингер А. В. — Начальная физика. Стр. 415. Ц. 1 р. 75 к., в/п 2 р.
- Чистов А. Ф. — Работы по электрическому току. Для школ II ступени. Под ред. П. А. Знаменского. Стр. 48. Ц. 20 к.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО РСФСР
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

РАБОЧАЯ ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

Серия по ХИМИИ

Под общей редакцией П. П. Лебедева

- Буткевич А. А. и Горячкин Е. Н. — Простейшие работы с металлом. Стр. 55. Ц. 25 к.
Дукельский М. П. — Естественное топливо. — Дрова, торф, уголь, нефть. Стр. 128. Ц. 55 к.
Изгарышев Н. А. — Гальванопластика и гальваностегия. Стр. 79. Ц. 30 к.
Лукьянов Б. П. — Серная кислота и сода. Стр. 100. Ц. 45 к.
Малахов Б. — Вода, ее исследование и очистка. Стр. 92. Ц. 40 к.
Челинцев В. — Соревнование лаборатории с природой в деле создания органических веществ. С дополнениями и примечаниями проф. П. Лебедева. С 16 портретами. Стр. 88. Ц. 70 к.

ЭКСКУРСИОННАЯ БИБЛИОТЕКА

- под общей редакцией Д. Н. Ангерта и Б. Е. Райкова
Багал Л. — На химических заводах. Редакция и введение проф. В. Верховского. Вып. I. Заводы для производства кислот. Стр. 64. Ц. 40 к.
Багал Л., Линин Г. и Ловягин Ю. — На химических заводах. Редакция и введение проф. В. Верховского. Вып. II. Заводы для отверждения жиров, заводы мыловарения и пивоварения. Стр. 78. Ц. 60 к.

УЧЕБНИКИ ПО ХИМИИ

- Кучеров М., Тайпале К. и Тидеман Б. — Практическая химия и материаловедение. Для техникумов, фаб.-зав. школ и самообразования.
Часть I. Введение в химический анализ. Исследование воды. Исследование воздуха. Топливо. Стр. 222. Ц. 2 р. 25 к.
Часть II. Строительные материалы, Руды. Металлы. Стр. 200. Ц. 1 р. 80 к.
Лебедев П. П. — Рабочая книга по химии, Вып. I. Стр. 147. Ц. 65 к.
Вып. II. Стр. 144. Ц. 60 к.
Вып. III. Стр. 196. Ц. 90 к.
Лебедев П. П. — Химия. Стр. 348. Ц. 2 р.
Созонов С. и Верховский В. — Первые работы по химии. Стр. 136. Ц. 55 к.
-