**Колебательные движения. Восприятие звуковых колебаний.**

**Глава 1. Понятие о колебательном движении**

Наши звуковые ощущения (звуки, шумы) вызываются воздействием различных колебательных движений на орган слуxa.

На примере маятника рассмотрим простейшие колебательные движения.

Шарик, укрепленный на нити в точке А (рис. 1), будет висеть неподвижно, если на него действует только сила земного притяжения.

Но стоит лишь отвести шарик из положения равновесия (точка В) в точку С и затем отпустить его, как равновесие нарушится и маятник начнет совершать колебательные движения. С возрастающей скоростью шарик устремится по дуге СВ, по инерции пройдет точку В и, замедляя движение, дойдет до точки Д. Остановившись на мгновение, шарик начнет обратное движение под влиянием той же силы притяжения, пройдет по инерции точку В и достигнет точки С. Совершилось полное колебательное движение.

В дальнейшем это движение будет продолжаться до тех пop, пока сила трения и сопротивление воздуха постепенно не остановят маятник. Такое колебательное движение называется затухающим.

В маятнике часов, в которых сила трения и сопротивления воздуха преодолевается пружиной или гирей, имеет место другой вид колебательного движения, который называется незатухающим или автоколебательным.

Наибольшее отклонение маятника от положения равновесия, измеряемое дугой ВС (или BD), называется амплитудой. В случае незатухающих колебаний амплитуда СВ равна амплитуде BD, т. е. остается постоянной, а при затухающем колебательном движении ампли-туда постепенно уменьшается и в конце превращается в нуль.

Сумма двух амплитуд называется размахом колебания, а время, необходимое для совершения полного колебательного движения, называется периодом.

В незатухающем и затухающем колебательном движении период остается постоянным (в затухающем колебательном движении постоянство периода объясняется уменьшением скорости колебательного движения). Такие колебательные движения называются периодическими или гармоническими.

Количество полных колебаний, совершаемое маятником в единицу времени (обычно в минуту), называется частотой.

Маятник колеблется под влиянием силы земного притяжения. Колебания звучащих тел происходят под влиянием или их собственной упругости (воздушный столб, металлическая пластинка, деревянный брусок), или под влиянием упругости, полученной путем натяжения тела (струна, мембрана).

Например, если натянутую струну отвести из положения равновесия (рис. 2) и отпустить, то она начнет совершать колебательные движения, которые могут быть затухающими (фортепиано, арфа, - когда струна возбуждается ударом, или щипком) и незатухающими (скрипка, виолончель, - когда струна возбуждается смычком).

Амплитуда струны CD (рис. 2) - мала, а поэтому и размах по сравнению с амплитудой и размахом маятника незначителен. Период колебания струны измеряется долями секунды. Частота колебаний звучащих упругих тел несравненно дольше, чем частота колебаний маятника. Слышимая частота изменяется от 16 колебаний в секунду (к/с) до 20000 к/с (приблизительно), в то время как частота колебаний маятника измеряется несколькими колебаниями в минуту. Мы разбирали колебания маятника, чтобы познакомиться с элементами колебательного движения. Конечно, колебания маятника не имеют никакого музыкального значения. Лишь при значительном увеличении частоты (при колебаниях упругих тел) эти отдельные колебания сливаются в нашем сознании, и мы воспринимаем их как новое качество - звук.

При колебании упругих тел в воздушной среде в ней возникают волны, которые представляют собой периодические сгущения и разрежения воздуха. Этого типа волны носят название продольных, так как направление движения частиц воздуха совпадает с направлением распространения всего процесca. Если звуковые волны возникают в открытом месте, то такие волны называются бегущими. Если же они возникают в закрытом помещении, где имеют место прямые и отраженные волны, то в результате интерференции (взаимодействия) прямых и отраженных волн иногда могут возникнуть так называемые стоячие волны. В зависимости от фазы, т. е. взаимного расположения интерферирующих волн, может возникнугь или усиление звука или его ослабление, либо, при различной длине волн (при различной частоте колебаний), периодическое чередование усилений и ослаблений звука (так называемые биения). Если звуковая волна встречает на своем пути препятствие, то она как бы обтекает его. Такое явление называется дифракцией. От формы предмета, гладкости его поверхности зависит степень дифракции. Дифракция позволяет слышать звуки, возникающие за препятствием, например, за круглой полированной колонной.

Как уже сказано было выше, мы воспринимаем как звуки различной высоты колебания упругих тел с частотой от 16 к/с до 20 000 к/с. Однако в музыкальном искусстве применяются звуки от 16 к/с (орган) до 4300 к/с (флейта пикколо или флажолеты скрипки). Более высокие звуки не применяются потому, что они очень похожи по тембру и, кроме того, их трудно различить по высоте. Но из этого количества звуков в музыке применяются не все, а только те из них, которые объединяются между собой в определенные музыкальные системы, т. е. находятся в определенных ясно различимых звуковысотных отношениях.

Обычно музыкальными звуками называют тe звуки, которые воспроизводятся певческими голосами или на музыкальных инструментах. Эти звуки обладают вполне определенными свойствами: определенной высотой, определенной громкостью и тембром (в зависимости от исторических и общественных условий, существующих у данного народа или нации). Кроме того, в музыке употребляются и некоторые шумы (сложные звуки с неопределенной высотой, но с определенным тембром и громкостью).

**Глава 2. Высота звука.**

§ 1. Высотой звука называется отражение в нашем сознании частоты колебания упругого тела. Мы воспринимаем как звук одного и того же названия не определенную частоту, а ряд близких частот. Например, как а1 мы воспринимаем колебательные движения не только с частотой 440 к/с, но и с частотами 435, 436, 437, 438, 439, 441, 442, 443, 444, 445 к/с (приблизительно). Таким образом, в нашем сознании частота перерабатывается в высоту.

Человек способен слышать весьма малые изменения высоты звука. Слуховой аппарат человека отмечает изменение высоты не одинаково в разных областях частот. Наиболее остро мы замечаем изменение высоты тонов в области от 500 до З 000 к/с. Для того, чтобы заметить эту разницу, требуется изменение в 5 центов (1/40 тона).

В низком регистре этот интервал увеличивается до 1/10 тона (например, в субконтроктаве). В высоком регистре, после З 000 к/с, интервал различения звуков по высоте также немного увеличивается. При одновременном слушании двух звуков можно заметить очень небольшую разницу между ними, благодаря биениям, которые отчетливо слышны, если слушать оба звука одним ухом. При слушании двух звуков, поочередно подводимых к разным ушам, разница, наоборот, увеличивается.

§ 2. Если мы будем слушать короткие по времени звуки, постепенно уменьшая их длительность, то заметим, что значительное уменьшение длительности вызывает потерю ощущения высоты этих звуков.

Необходимо некоторое минимальное количество колебаний в секунду для того, чтобы человек мог судить о высоте звука. Исследования показали, что минимальная длительность звука, необходимая для определения его высоты, зависит от его частоты.

Для G1, (контроктавы) требуется 0,080 сек.

» g (малой октавы) , 0,035 ,

» h2 (второй октавы) , 0,015

» h3 (третьей октавы) , 0,013

» h4 (пятой октавы) , 0,018

» es6 (шестой октавы) , 0,030

Из приведенной таблицы видно, что наиболее короткие звуки возможны в области частот от 700 до 3 200 к/с, т. е. от f2 до g4.

В низком регистре, в области субконтроктавы и контроктавы, длительность звука должна быть довольно большой.

§ 3. Способность человека определять заданные музыкальные интервалы и воспроизводить их голосом, а также способность определять абсолютную высоту заданных звуков и воспроизводить их голосом являются свойствами музыкального слуха.

В первом случае, когда отношение между высотами звуков оценивается человеком как музыкальный интервал, как некоторое определенное качество, слух называется относительным.

Так как при некоторых изменениях между частотами звуков музыкальный интервал между ними сохраняет свою качественную определенность, то каждый интервал может иметь несколько количественных выражений.

Наличие относительного слуха совершенно необходимо для музыканта. Развитие его предусмотрено учебными планами музыкальных школ, училищ и консерваторий.

Во втором случае, т. е. при наличии способности определять абсолютную высоту заданных звуков (ступеней) или воспроизводить их голосом, слух называется абсолютным.

Обычно человек, обладающий абсолютным слухом, имеет также и относительный, но бывают случаи, когда при абсолютном слухе человек воспринимает музыкальные интервалы не как некоторое определенное качество, а лишь как сумму не связанных между собою звуков.

Абсолютный слух бывает двух типов - истинный и ложный. Для первого типа необходимо наличие у человека особых физиологических задатков. Второй тип абсолютного слуха требует постоянных и длительных упражнений.

Так, если истинный слух проявляется уже с самого раннего детства, то ложный слух можно выработать только в более зрелом возрасте. Критерием хорошего, истинного абсолютного слуха является способность быстро определять высоту заданного звука. Человек, обладающий ложным абсолютным слухом, обычно путем упражнений запоминает какой-либо один звук, например, б, а остальные звуки, он определяет, сравнивая их по высоте с этим звуком. Кроме того, встречаются лица, у которых абсолютный слух существует лишь по отношению к тому инструменту, на котором они играют. Но во всех случаях абсолютный слух способен определять и воспроизводить не частоту звука, а его высоту, т. е. его принадлежность к той или иной ступени.

.Некоторые лица, не обладающие абсолютным слухом, могут определять высоту звуков, пользуясь какими-нибудь добавочными способами. Например, некоторые певцы определяют высоту звука, пользуясь ощущением напряжения голосовых связок.

Путем упражнений можно, безусловно, развить относительный слух. Что же касается превращения ложного абсолютного слуха в близкий к истинному, то это пока еще не доказано опытами.

Для музыканта большое значение имеет наличие внутреннего слуха - способность воображать высоту звуков и (в частности) созвучий. Внутренний слух позволяет исполнителю составить представление о музыкальном произведении до его прослушивания, а композитору дает возможность создавать произведение без помощи инструмента.

§ 4. Для точного определения частоты колебаний звучащего тела применяются разнообразные приборы и методы.

Простейшим и наиболее старым методом является слуховое сравнение данного звука с другим, близким к нему по высоте звуком, частота колебаний которого точно известна, и последующий счет биений, возникающих между этими двумя звуками. Так например, если исследуемый звук дает с сравнительным звуком частоты 440 к/с полтора биения в секунду, а с другим сравнительным звуком частоты 444 к/с-два с половиной биения в секунду, то частота его колебаний будет равна 141,5 к/c, и так далее.

Однако слуховой способ сравнения труден, так как требует специальной тренировки слуха исследователя. А если испытуемый звук дается человеком (например, голосом, на скрипке и т. п., на духовом инструменте), то он обычно инстинктивно подстраивается ко второму, слышимому им звуку измерительного прибора. Поэтому результаты сравнения получаются неточными.

Более точное определение частоты колебаний звучащих тел дает стробоскопический метод сравнения. При этом исследуемый звук превращается в световые импульсы (вспышки лампы с тлеющим разрядом), освещающие систему вращающихся дисков с чередующимися черными и белыми секторами, соотношения скоростей которых пропорциональны соотношениям между числами колебаний какой-либо музыкальной системы. При совпадении числа колебаний исследуемого звука с числом проходящих секторов на каком-либо из измерительных дисков, изображение на последнем покажется остановившимся. Это есть момент унисона двух колебательных процессов.

В существующих наиболее распространенных стробоскопических частотомерах применены комплекты из 12 измерительных дисков, скорости которых настроены по равномерно-темперированной музыкальной скале. Особое приспособление позволяет плавно изменять скорость вращения всех дисков одновременно в пределах ±3%, что соответствует изменению высоты звуков в пределах ± половины полутона. Указатель на шкале прибора дает возможность, в момент достижения унисона с исследуемым звуком, сразу прочесть высоту последнего относительно ближайшего, нормального темперированного звука, с точностью до 0,01 полутона (т. е. до одного цента).

Прибор очень чувствителен, не требует от оператора специальной тренировки слуха, и не издает никаких звуков, к которым мот бы подстраиваться исполнитель.

Получаемые на нем в музыкальных (логарифмических) единицах высоты звуков могут быть, при надобности, переведены в соответствующие частоты колебаний (герцы), при помощи специальных таблиц.

**Глава 3. Громкость звука.**

§ 1. Силой или интенсивностью звука называется количество звуковой энергии, проходящей через единицу поверхности в единицу времени, а громкостью звука называется отражение в нашем сознании силы звука.

Громкость, которая является нашим ощущением, изменяется непропорционально силе звука. Увеличивая силу какого-либо звука в 2, 3, 4 раза, мы замечаем, что наше звуковое ощущение (громкость звука) не растет в указанных отношениях. Если, например, увеличить силу звука в миллион раз, то его громкость не возрастет также в миллион раз.

B 1846 г. физиолог Вебер установил количественную связь между ощущением и раздражением, вызывающим это ощущение. В дальнейшем (1860 г.) Фехнер подверг закон Вебера математической обработке, в результате которой был сформулирован общий психофизический закон Вебера - Фехнера, согласно которому ощущение изменяется пропорционально логарифму раздражения. Согласно этому закону, при увеличении силы звука в 100, 1 000 и т. д. раз ощущение увеличивается соответственно в 2,3 и т. д. раза.

Новые исследования зависимости громкости от силы звука показали большие расхождения с законом Вебера - Фехнера. Но для сравнения звуков по их силе, оказалось, очень удобно пользоваться этим законом.

Человеческое ухо способно воспринимать звуки, сила которых может изменяться в миллиарды раз. От порога слышимости до болевого порога звук увеличивается по силе (в средней области частот) в 100 000 000 000 000 раз. Естественно, что при оперировании такими величинами удобнее пользоваться их логарифмами.

Логарифмической единицей измерения при этом служит «фон», или «бел» (в честь изобретателя телефона Г. Белла).

Удобнее пользоваться «децибелом» - единицей измерения в десять раз меньшей бела. Децибел обозначается знаками db или дб. Таким образом, децибелом является единица измерения, выражающая едва заметный прирост громкости звука над уровнем шума в помещении или порогом слышимости. (Существует специальный прибор - шумомер для определения уровня громкости в дб)

Уровень громкости количественно может выражаться в дб. В этом случае за исходную величину принимается сила звука при пианиссимо.

Например (приблизительно):

пианиссимо оркестра = 55 дб

фортиссимо оркестра (вблизи) = 100 дб

шум пропеллера (вблизи) = 120 дб

Децибел является удобной величиной для определения динамического диапазона музыкальных инструментов и певческих голосов. В этом случае за исходную величину принимается сила звука при пианиссимо. Так, динамический диапазон рояля = 44 дб, виолончели = 38 дб.

§ 2. Если мы будем слушать звуки различных частот, но одинаковой силы, то эти звуки окажутся для нас различной громкости.

Для того, чтобы выяснять уровень громкости звуков различной частоты, были проведены эксперименты. Испытуемым давались два звука: один в 1 000 к/с, другой - произвольной частоты, и предлагалось отрегулировать силу звука в 1 000 к/с так, чтобы эти два звука были равной громкости. В результате большого числа такого рода экспериментов составилось представление о равногромкости различных звуков со звуком в 1 000 к/с.

Итак, два звука равной громкости, но разной частоты в общем случае имеют разную силу. Это явление объясняется различной чувствительностью нашего уха к звукам различной частоты. Человеческое ухо наиболее чувствительно к частотам от 500 до 3 000 к/с.

В музыкальной практике градации громкости обозначаются: ррр, рр, р, mр, mf, f,ff, fff.

Изменение громкости на одну ступень этой шкалы соответствует, по данным литературы, увеличению уровня громкости приблизительно на десять - двенадцать дб. Следовательно, градация громкости от ррр до fff обнимает от 70 - 85 дб. Измерение диапазона мощности (силы) симфонического оркестра как раз дало эти числа.

Однако новейшие исследования показали, что приведенные выше данные относительно градации громкостей недостаточно полны, так как в них не приняты во внимание громкость отдельных инструментов (ff на скрипке не может бытъ приравнено к ff тромбона), уровень шума в помещении (при большем шуме к помещении рр иное, чем при меньшем) и восприятие динамических оттенков различными лицами, а одним лицом - в различное время (у одного испытуемого при опытах ff соответствует 87 дб, а у другого - 112 дб; у одного и того же испытуемого р соответствует в различное время 63 дб и 76 дб).

Bce это говорит об относительности динамических оттенков, применяемых в музыкальной практике, и о зонной природе динамического слуха.

§ 3. Под действием звуков различной силы изменяется чувствительность уха. Например, звуки средней силы после слушания очень сильного звука будут казаться тихими. Те же звуки в тишине будут казаться громкими. Таким образом, чувствительность уха в относительной тишине повышается, а при различии звуков большой силы - понижается. Такое приспособление к звукам различной силы называется адаптацией слуха.

Изменение чувствительности уха происходит также вследствие продолжительного слушания звука. Если слушать звук большой силы в течение продолжительного времени (минуты и более), то громкость его будет постепенно падать вследствие понижения чувствительности уха. Если внезапно снизить силу звука, то падение его громкости будет весьма значительно. При восприятии кратких повторяющихся звуковых импульсов ухо успевает восстановить в перерывах свою чувствительность, поэтому громкость такого прерывистого звука не падает в течение долгого времени. Малая степень адаптации наблюдается также при восприятии звука с биениями.

§ 4. Бинауральным эффектом называется способность человека определять направление, в котором находится от него источник звука. Эта способность объясняется наличием двух ушей. Глухие на одно ухо с трудом определяют направление источника звука. В горизонтальной плоскости на открытом воздухе человек определяет направление при резких ударных звуках с точностью до 3°. В закрытых помещениях определить направление более трудно вследствие наличия отраженных звуков, идущих в различных направлениях. В вертикальной плоскости бинауральный эффект проявляется очень слабо, ввиду того, что уши расположены в горизонтальной плоскости.

Существует предположение, объясняющее бинауральный эффект разницей во времени прихода звукового импульса к правому и левому уху. Другое, более вероятное, предположение объясняет бинауральный эффект разницей в громкости звука, которое воспринимается правым и левым ухом. Последнее объяснение бинаурального эффекта не применимо в области низких частот, ввиду того, что разница в силе звука, приходящего к правому и левому уху, с понижением звука, вследствие дифракции у головы, значительно уменьшается; например, при частоте 300 к/с это составляет 1 дб.

Точность в определении направления падает в области 2 000 к/с, а затем снова поднимается. Это хорошо объясняется наличием именно двух указанных факторов бинаурального восприятия. Точность падает как раз в области частот, в которой совершается переход от одного типа восприятия к другому.

При восприятии простых звуков (с синусоидальными колебаниями) точность определения направления уменьшается. При слушании кратких ударных импульсов точность максимальна. Это объясняется тем, что при сложных звуках действуют оба фактора, определяющие бинауральный эффект.

Суждение о расстоянии, на которое удален источник звука, составляется, главным образом, по изменению громкости и тембра заранее знакомого звука.

При слушании музыки в исполнении большого коллектива, например, симфонического оркестра, ясно ощущается направление и расстояние, на котором находятся отдельные инструменты или группы инструментов оркестра. Та же музыка, переданная по радио, теряет в нашем восприятии свою «объемность», так как звуки исходят практически из одной точки - из репродуктора радиоприемника. Некоторое представление о расстоянии, на котором находится исполнитель от микрофона, можно составить на основании изменения отношения прямых звуковых лучей, поступающих от исполнителя непосредственно в микрофон, к лучам, отраженным поверхностями помещения. Так, при удалении исполнителя от микрофона, процент прямых лучей в общей звуковой энергии, поступающей в микрофон, уменьшается, и слушатель ясно это ощущает как удаление источника звука.

**Глава 4. Тембр звука.**

§ 1. Тембром или окраской звука называется отражение в нашем сознании состава звука.

Музыкальные звуки имеют сложный состав. Они состоят из слышимого основного тона и обертонов. Обертонами называются призвуки, возникающие выше основного тона в результате деления источника звука (струны, столба воздуха и т. д.) на части и взаимодействия его с резонаторами. Обертоны, частоты которых находятся в кратных отношениях с частотой основного тона (1, 2, 3, 4, 5, 6 и т. д., принимая частоту основного тона за единицу), называются гармоническими, или «гармониками». Обертоны, частоты которых находятся в более сложных отношениях с частотой основного тона (например: 1; 6,26; 17,35 и т. д.), называются негармоническими.

Если расположить все гармонические обертоны в порядке возрастания их частоты, то образуется звукоряд, который носит название натурального или гармонического, причем счет входящих в него частичных тонов ведется, начиная с нижнего.

Частота тонов натурального звукоряда не вполне совладает с частотой звуков темперированного строя, принятого в настоящее время для настройки ф.-п. и других музыкальных инструментов с фиксированной высотой звуков. 7, 11, 13 и 14-я гармоники выражены особенно неточно: 7-ая гармоника ниже звука b1 почти на 1/8 целого тона, 11-я находится почти посередине между f2 и fis2 (ближе к fis2), 13-я также находится почти посередине между as2 и а2 (ближе к as2), 14-я является октавным удвоением 7-й гармоники.

Тембр звука зависит в основном от количества обертонов, их номеров и их относительной громкости.

При сильных звуках в самом органе слуха - ухе возникают так называемые «субъективные» обертоны. Поэтому восприятие синусоидального колебания возможно лишь при малых громкостях. Сильные синусоидальные колебания воспринимаются как сложные колебания, имеющие некоторый тембр, обусловленный «субъективными» обертонами.

Тембр звука изменяется также с расстоянием от источника звука, так как высокие обертоны поглощаются воздухом сильнее, чем основной тон и низкие обертоны. Описанное явление вызывает своеобразие изменения тембра отдаленных звуков, позволяющее распознавать эти звуки как идущие издалека.

§ 3. Положим на крышку резонансного ящика звучащего камертона небольшой металлический шарик. Колебания камертона будут передаваться крышке ящика, и шарик начнет подпрыгивать на крышке, производя стуки. Если подпрыгнувший шарик остается в воздухе в течение одного периода колебаний, то частота стуков будет равна частоте колебаний камертона; стуки дадут в этом случае ощущение звука одинаковой высоты со звуком камертона.

Если шарик остается в воздухе в течение двух периодов колебаний камертона, то его стуки будут следовать друг за другом через одно колебание, и частота стуков будет в два раза меньше. Звук, производимый шариком, будет в таком случае на октаву ниже звука камертона.

Тяжелые шарики могут оставаться в воздухе в течение трех, четырех, пяти и более колебаний камертона. Частота стуков гари этом будет в три, четыре, пять и т. д. раз меньше и высота звуков соответственно ниже. Эти звуки носят название «унтертонов». Образование унтертонов возможно только при наличии вторичного источника звука, резонирующего через одно, два, три или больше колебаний основного источника звука.

Ряд звуков, с частотами, относящимися, как числа ряда 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5... и т. д., называется унтертонным звукорядом. Унтертонный звукоряд является как бы зеркальным отражением натурального звукоряда. Его тоны идут по тем же интервалам, как и тоны в натуральном звукоряде, но вниз, а не вверх от основного тона.

В музыкальной практике унтертоны не имеют никакого значения. Они наблюдаются только в виде дребезжания какого-либо предмета под влиянием доходящих до него звуковых колебаний. Поэтому попытка Римана объяснить минорное трезвучие унтертонным звукорядом не выдерживает критики, точно так же как не выдерживает критики объяснение мажорного трезвучия обертонным звукорядом.

**Глава 5. Восприятие созвучий**

§ 1. В музыке отношение высот двух звуков выражают музыкальным интервалом (секунда, терция, кварта, квинта и г. д.).

В акустике отношение высот двух звуков выражают отношением их частот.

Чем больше отношение частоты верхнего звука к частоте нижнего, тем больше разница между ними по высоте. Это отношение частот двух звуков, образующих музыкальный интервал, называется его «интервальным коэффициентом». Из натурального звукоряда видно, что интервальный коэффициент октавы равен 2/1, интервальный коэффициент квинты равен 3/2, интервальный коэффициент кварты равен 4/3 и т. п.

В следующей таблице даны интервальные коэфициенты, выведенные из соотношения между частичными тонами натурального звукоряда:

Прима 1/1 Малая секунда 16/15

Большая секунда 9/8 или 10/9 Малая терция 6/5

Большая терция 5/4 Кварта 4/3

Квинта 3/2 Малая секста 8/5

Большая секста 5/3 Малая септима 9/5 или 16/9

Большая септима 15/8 Октава 2/1

Тритон 7/5 или 10/7

С музыкальными интервалами обращаются, как с величинами, могущими складываться и вычитаться, например: квинта + кварта = октава (при сложении квинты с - g c квартой g – c1 мы получаем октаву с – с1), квинта - м. терция = большая терция.

При обращении с интервальными коэффициентами сложение интервалов заменяется умножением их интервальных коэффициентов, вычитанием - делением, например:

Квинта + кварта = октава (3/2)Х(4/3) = 2/1

Квинта - малая терция = большая терция 3/2 : 6/5 = 5/4

Кварта + малая терция = малая секста (4/3)Х(6/5) = 8/5

Большая секста - большая терция = кварта 5/3 : 5/4 = 4/3

Для повышения или понижения высоты звука на какой-либо интервал нужно его частоту умножить или разделить на соответствующий интервальный коэффициент, например, умножение частоты тона а 440 к/с на интервальный коэффициент квинты 3/2 дает частоту 660 к/с и повышает тон на квинту (e)

A1 + квинта = е2 440Х3/2 = 660 к/с;

деление частоты тона а 440 к/с на интервальный коэффициент малой сексты 8/5 дает частоту 275 к/с и понижает тон на малую сексту

a1 - мал. секста = cis1 440 : 8/5 = 275 к/с

В натуральном звукоряде порядковый номер обертона, отстоящего на октаву вверх от какого-либо другого обертона, в два раза больше порядкового номера последнего, поэтому при обращении интервала, получаемого путем перенесения нижнего тона на октаву вверх, знаменатель интервального коэффициента удваивается и делается числителем отношения.

Например, обращение квинты 3/2 дает кварту 4/3, обращение большой терции 5/4 дает малую сексту 8/5.

При обращении интервала, получаемого путем перенесения верхнего тона на октаву вниз, числитель уменьшается вдвое и делается знаменателем.

Например, обращение малой терции 6/5 дает большую сексту 5/3, обращение большой секунды 10/9 дает малую септиму 9/5:

§ 2. Все звуки, применяемые в музыке, связаны между собой. Одни из них связаны более сильно (непосредственно родственные звуки), другие - менее сильно (опосредствованно родственные звуки). Степень родственности двух звуков определяется слышимыми общими частичными тонами.

Например, звуки с и g являются непосредственно родственными, так как они имеют слышимый общий частичный тон g1 (3-й частичный тон от с и 2-й частичный тон от g). Также непосредственно родственными являются звуки с и е, так как у них имеется слышимый частичный тон е2 (5-й частичный тон от с и 4-й частичный тон от е). В большой секунде c - d звуки находятся в слабом непосредственном родстве, потому что их общий частичный тон d3, вследствие отдаленности не слышен (9-й частичный тон от с и 8-й oт d). Ho звуки c - d могут быть сделаны более родственными путем прибавления третьего звука, у которого имеются общие отчетливо слышимые частичные тоны со звуками с и d. Например, таким звуком может быть звук g, который находится в непосредственном родстве и со звуком с и со звуком d. Такое родство между звуками с и d называется опосредствованным[1].

Из сказанного следует, что все консонирующие интервалы (прима, октава, квинта, кварта, б. и м. терция, б. и м. секста) образованы звуками непосредственно родственными, а диссонирующие (тритон, б. и м. септима, б. и м. секунда) - опосредственно родственными[2].

§ 3. При восприятии двух одновременных звуков различной громкости более громкий звук, при известном соотношении громкостей, может совершенно «заглушить», «замаскировать» другой более слабый звук. Если прекратить звучание громкого звука, то второй звук, который до этого не был слышен, станет отчетливо слышимым (через некоторое время). Исследования этого эффекта показали, что наиболее маскируются звуки, лежащие выше маскирующего звука; что чем больше сила маскирующего звука, тем больше область маскировки и тем дальше она распространяется на маскируемые звуки.

При маскирующем звуке в 200 к/с и в 80 дб мы не услышим, например, звука в 800 к/с и 70 дб[3].

Чем ближе пo частоте маскируемый звук находится к маскирующему, тем больше эффект маскирования. В непосредственной близости по частоте маскирующее действие уменьшается вследствие наличия биений, которые помогают обнаружить присутствие маскируемого тона. Наиболее сильно маскируются звуки, соответствующие обертонам маскируемого звука.

В произведениях, написанных для симфонического оркестра, встречаются места, в которых маскирующее действие оказывают также обертоны, возникающие при игре на инструментах в низком регистре (например, в валторнах) на мелодию, исполняемую в высоком регистре (например, гобоем). Некоторые звуки мелодии при этом для слушателя пропадают. В музыкальной практике постоянно встречается эффект маскирования, особенно при игре симфонического оркестра. Дирижеры, выравнивая звучность оркестра, хорошо представляют и ощущают меру маскирования.

§ 4. При одновременном звучании двух звуков, например, с и g, образующих интервал квинты - 3/2, 3-й обертон от с и 2-й обертон от g совпадают по высоте. Тон g1 называется тоном совпадения звуков с и g.

У звуков с и а, образующих интервал большой сексты - 5/3, совпадают 5-й обертон от с и 3-й обертон от а. Тон е2 называется тоном совпадения звуков с и а.

Звуки с и es, образующие интервал малой терции - 6/5, имеют тон совпадения g2 - 6-й обертон от с и 5-й от es.

Тон совпадения любых звуков, образующих какой-либо интервал, можно определять построением от них натуральных звукорядов.

При этом тон совпадения образуется обертоном верхнего звука, номер которого равен знаменателю интервального коэффициента, и обертоном нижнего звука, номер которого равен числителю того же интервального коэффициента. Например, частоты звуков, образующих интервал большой терции, находятся в отношении 5/4 (в натуральном звукоряде). Таким образом, тон совпадения этого интервала образуется от слияния 5-го обертона от нижнего звука и 4-го - от верхнего звука.

Два звука могут иметь один, два и более слышимых тонов совпадения.

Например, звуки с и е имеют один слышимый тон совпадения: (совпадают: 5-й обертон от с и 4-й-от е)[4].

Звуки с и g имеют два тона совпадения: (совпадают 3-й обертон от c и 2-й от g и 6-й от c и 4-й от g)[5].

Слышимость тонов совпадения различна и зависит от интервала и регистра образующих звуков. Чем проще интервальный коэффициент, тем более низкие обертоны совпадают, и тем лучше слышимость тона совпадения. Однако, если тон совпадения является октавным удвоением одного из образующих его звуков, то он слышен плохо. Так, во втором примере тон совпадения g1 звуков с и g представляет собой октавное удвоение звука g и маскируется последним. Поэтому тоны совпадения хорошей слышимости имеют: малая терция, большая секста и тритон; лучше всего тоны совпадения слышны, когда образующие их звуки находятся в малой или большой октаве.

Тон совпадения может быть образован тремя, четырьмя и более звуками. Например, звуки Fis, с и а имеют общий тон тройного совпадения е2, который является 7-м обертоном от Fis, 5-м от с и 3-м от а.

Звуки D, Fis, c и а имеют общий тон четверного совпадения е2.

В музыке тоны совпадения могут искажать характер гармонии. Так, большая секста в низком регистре всегда имеет несколько минорный характер, доминантсептаккорд может образовать тон совпадения, придающий аккорду характер нонаккорда и т. п.

§ 5. Совпадение двух звуков по частоте воспринимается нами как один звук (физический унисон). Если постепенно изменять частоту одного из звуков, то мы будем воспринимать один звук, сопровождаемый биениями - периодическими усилениями и ослаблениями звука (физиологический унисон). Высота этого звука представляет собой среднюю высоту между высотами обоих составляющих звуков. Прекращение звучания более высокого звука создает впечатление понижения высоты слышимого звука. Прекращение звука более низкого создает впечатление повышения звука[6].

При увеличении разницы между звуками, более чем на 1/6 целого тона (в среднем регистре), их слияния в один звук не происходит и наступает расщепление унисона на два отдельных звука. Биения при этом не исчезают, а сохраняются до некоторого предела.

При наличии нескольких звуков, интервал между крайними звуками с заполненной серединой может доходить до 1/4 (унисон скрипок) и даже 1/2 целого тона (унисон одноименных голосов хора). Как показали исследования, музыканты симфонического оркестра, исполняющие одну и ту же партию, например, первых скрипок, не играют точно в унисон, однако слушатели воспринимают один слитный звук с высотой, занимающей среднее положение между высотами всех составляющих звуков.

Частота суммарного, сопровождаемого биениями, колебания зависит от соотношения амплитуд слагаемых колебаний. Если их амплитуды равны между собой, то частота его остается постоянной, не изменяющейся, имея среднее значение между частотами слагаемых колебаний.

Если амплитуды слагаемых колебаний не равны, то частота суммарного колебания периодически незначительно изменяется, совместно с периодическим изменением его амплитуды. При максимуме амплитуды частота лежит между частотами слагаемых звуков. Но при последующем затем минимуме амплитуды частота слитного звука отклоняется в сторону частоты звука с большей амплитудой и даже заходит за эту частоту. Если из двух слагающихся звуков звук с большей амплитудой является более высоким, то частота слитного звука, при минимуме его амплитуды, больше частот обоих звуков. Если же звук с большей амплитудой является более низким, то частота слитного звука, при минимуме его амплитуды, меньше частот обоих звуков.

Однако обнаружить это отклонение частоты на слух, при, минимуме амплитуды, очень трудно, и ощущение высоты слитного звука почти всегда дает некоторое серединное ее положение между высотами обоих звуков.

Частота биений, т. е. их количество в одну секунду, равна разности между частотами составляющих звуков.

Например, одновременное звучание двух камертонов в 435 к/с и 440 к/с дает 440-435=15 биений в одну секунду.

Всякое прерывистое раздражение нервов (мерцающий свет, прерывистый звук) ощущается сильнее, чем постоянное раздражение той же силы, при которой чувствительность нервов быстро притупляется. С увеличением частоты отдельных раздражений (или перерывов между раздражениями) нерв уже не успевает полностью возвращать себе нормальную чувствительность, отдельные раздражения сливаются между собой и прежнего действия не производят.

Поэтому с увеличением частоты биений они становятся все менее и менее заметными и, наконец, совсем исчезают.

Наиболее отчетливо биения слышны при количестве их, равном 4-5 в одну секунду. При количестве биений не более 2-15 в одну секунду их можно еще подсчитать. При большем количестве их можно только слышать, подсчитать же невозможно. Если количество биений становится более 30 в одну секунду, то они начинают сливаться, их непосредственная слышимость исчезает, и остается неприятное ощущение «хриплости» или «шероховатости» звучания. При дальнейшем увеличении количества биений исчезает и шероховатость. Наиболее неприятное, раздражающее впечатление биения создают на границе перехода их в хриплость и шероховатость, т. е. при количестве биений, равном 30-60 в одну секунду.

Граница исчезновения шероховатости, иначе говоря, предел восприятия биений слухом, зависит от регистра звуков. С повышением звуков этот предел увеличивается. В высоком регистре (конец третьей октавы) биения, в виде хриплости звука, еще заметны при количестве их, равном 132 в одну секунду.

В еще более высоком регистре (середина четвертой и начало пятой октавы) биения могут быть заметны при количестве их, доходящем до 400 в одну секунду. В низком регистре биения перестают быть слышными при значительно меньшем числе.

В низком регистре разница по частоте между двумя образующими интервал, меньше разницы по частоте между звуками, того же наименования, но в более высоком регистре. Например, звуки низкого регистра A1 - 55 к/с и С - 66 к/с, образующие интервал малой терции (66/55 = 6/5) , производят 66 - 55 = 11 .биений в 1 сек., которые можно подсчитать на слух. Звуки того же наименования, но более высокого регистра, а2 - 880 к/с. и с3 - 1 056 к/с, образующие тот же интервал малой терции (1056/880 = 6/5) производят 1 056-880=176 биений в сек., - количество, при котором в данном регистре они уже не слышны. Поэтому максимальная величина музыкального интервала, при котором еще слышны биения, в низком регистре больше, чем в высоком.

В четвертой октаве биения слышны при интервале большой секунды. В середине пятой октавы биения слышны лишь при интервале малой секунды. В большой октаве биения ясно заметны при интервале квинты, образованном звуками C - 64 и G - 96 к/с.

К биениям между основными тонами звуков присоединяются биения между их обертонами.

Биения, сопровождающие звучание тонов совпадения, усиливают их слышимость и делают их более заметными.

Биения могут возникнуть также между основным тоном одного звука и соответствующим обертоном другого звука.

При нескольких звуках смешения биений между основными тонами и их обертонами образует некоторый беспорядочный комплекс, в котором нет возможности что-либо различить.

Биения могут возникнуть и при наличии лишь одного источника звука, между его обертонами. Например, ржавчина на стальной струне рояля уменьшает ее толщину у одного из концов. При делении струны пополам в процессе колебания ее половины (колебание которых дает второй обертон) колеблются с неодинаковой частотой вследствие различной их толщины, отчего и возникают биения.

Такие биения негармонических обертонов особенно хорошо заметны в колоколах.

Явлением биений пользовались на практике для выяснения обертонного состава звука, при так называемом «анализе методом звукового зонда». Звуковым зондом служил тон, постепенно изменяемый по высоте.

Такой тон обычно получали от «генератора звуковых частот». При совместном звучании исследуемого звука и звука-зонда, по биениям последнего узнают о наличии на данной частоте обертона исследуемого звука.

Биениями пользуются также при настройке музыкальных инструментов, например, рояля, фисгармонии. Присутствие биений указывает на неточность настройки в унисон или октаву.

В органе биения иногда используют для придания звуку особой выразительности. Такой звук носит название «vox humana» (человеческий голос), так как он является подражанием естественной вибрации человеческого голоса.

§ 6. При одновременном звучании двух достаточно сильных и близких по высоте звуков, часто появляется третий, ясно слышимый тон.

Этот тон называется разностным комбинационным тоном.

Частота разностного тона равна разности частот образующих его звуков.

Так, например, два звука, имеющие частоту 600 к/с и 500 к/с, дают разностный тон с частотой 100 к/с.

Положение разностного комбинационного тона :по отношению к образующим его звукам определяется их интервальным коэффициентом.

Чтобы определить отношение частот разностного комбинационного тона к частотам образующих его звуков, нужно из числителя интервального коэффициента звуков вычесть его знаменатель. Полученное число (вместе с числами интервального коэффициента) показывает отношение частот всех трех звуков.

1. Определим разностный тон звуков es2 и с2, о6разующих интервал малой терции, с интервальным коэффициентом 6/5. Вычитая из числителя интервального коэффициента (6) знаменатель (5), находим число 6-5=1, показывающее отношение частоты разностного тона IK частотам образующих его звуков.

Построим затем натуральный звукоряд, считая звуки es2 н c2 ero шестым и пятым частичными тонами:

Тогда первый частичный тон натурального звукоряда As (1) соответствует разностному тону звуков es2 (6) и с'2 (5).

2. Определим разностный тон звуков f2 и a1, образующих интервал малой сексты, с интервальным коэффициентом 8/5: 8 - 5 = 3.

Построим натуральный звукоряд, считая f2 и а1 восьмым и пятым его тонами:

Тогда третий частичный тон натурального звукоряда с1 (3) соответствует разностному тону звуков f2 (8) и а1 (5).

Аналогичным образом определяется положение разностных тонов других интервалов с простыми интервальными коэффициентами.

Ниже приведена приблизительная высота (в темперированном строе) разностного комбинационного тона (обозначен черными нотами) в зависимости от величины интервала образующих звуков (обозначены белыми нотами).

Как видно из таблицы, при интервале, меньшем октавы, разностный тон ниже обоих звуков. При интервале октавы он совпадает с нижним звуком. При интервале, большем октавы, разностный тон находится между образующими его звуками. Выше верхнего звука разностный тон быть не может, так как уменьшаемое всегда больше разности.

Разностные комбинационные тоны образуются как основными тонами, так и обертонами и могут в свою очередь образовывать свои разностные комбинационные тоны.

Каждые два тона натурального звукоряда соседних номеров дают разностный тон 1, совпадающий с основным тоном звукоряда и усиливающий его, например: 2 - 1 = 1, 3 - 2 = 1, 4 - 3 = 1, 7 - 6 = 1, 15 - 14 = 1 и т. д.

Тоны звукоряда несоседних номеров совпадают с другими тонами и усиливают их, например: 5 - 3 = 2, 7 - 4 = 3, 11 - 3 = 3, и т. п.

Но усиление отдельных тонов натурального звукоряда еще более усиливает разностный тон 1, образуемый соседними тонами. Этот тон, совпадая с первым частичным тоном, звучит значительно громче остальных частичных тонов, и весь натуральный звукоряд воспринимается, как один звук с высотой основного тона.

Этим объясняется восприятие гармонических обертонов сложного звука, как его тембра, а не как ряда ясно слышимых тонов.

Слышимость комбинационного тона зависит от силы образующих его звуков, от регистра, в котором возникает комбинационный тон, и от соложения последнего по отношению к образующим звукам.

Сила комбинационного тона пропорциональна произведению сил образующих звуков. Вследствие этого его громкость растет и убывает значительно быстрее громкости образующих звуков. Поэтому комбинационный тон становится хорошо слышным лишь при достаточно громких образующих звуках.

При одной и той же силе комбинационного тона он лучше слышен, когда образующие звуки имеют приблизительно одинаковую громкость.

Комбинационный тон слышится лучше, когда он находится в области наибольшей чувствительности уха (примерно в области от 500 до 3 000 к/с, т. е. при высоких образующих звуках).

Кроме того, комбинационный тон может быть плохо слышен из-за его маскировки образующими звуками. Эта маскировка тем меньше, чем больше отстоит комбинационный тон от образующих его звуков. Поэтому комбинационный тон отчетливо слышен лишь при интервалах, меньших октавы, так как при этом он всегда находится ниже образующих звуков. При интервале октавы комбинационный тон совпадает с нижним образующим звуком и маскируется последним (см. нотный пример на стр. 28). При интервалах, больших октавы, разностный комбинационный тон, находясь между образующими звуками, также сильно маскируется и слышен плохо.

Все сказанное относительно слышимости комбинационных тонов можно проследить на различных источниках звука.

Комбинационный тон слышен при звучании камертонов, деревянных органных труб и духовых музыкальных инструментов-труб, кларнетов и флейт. Хуже слышен комбинационный тон при звучании струнных смычковых инструментов - скрипок и альтов. На рояле комбинационный тон услышать трудно, так как его громкость быстро убывает.

В музыке возникновение комбинационных тонов может вызвать искажение гармонии. Например, в минорном трезвучии e2 - g2 - h2 звуки е2 и g2 могут образовать гармонически чуждый комбинационный тон с, который, отстоя от них далеко вниз, хорошо слышен.

Для борьбы с комбинационными тонами, источники звуков следует располагать, по возможности, далее друг от друга, а также строить созвучие таким образом, чтобы комбинационные тоны не противоречили общей гармонии.

Комбинационные тоны были открыты еще в середине XVIII века немецким органистом Зорге в Гамбурге и, независимо от него, - итальянским скрипачом Тартини в Падуе. Однако различные теории объяснения этого явления появились значительно позже.

Сначала считали, что комбинационные тоны возникают лишь в слуховом аппарате человека - ухе.

Так, Юнг, основываясь на том, что частота разностного тона, как и частота биений, равна разности частот образующих звуков, полагал, что когда число биений в 1 секунду станет достаточно большим, то их толчок будут восприниматься ухом как комбинационный тон.

Гельмгольц, теоретически правильно объяснив появление комбинационных тонов, считал, что они возникают в ухе вследствие несимметричности строения барабанной перепонки, которая при своих колебаниях прогибается в одну сторону больше, чем в другую.

Кроме того, он допускал возможность, что слуховые косточки среднего уха при биениях могут производить периодические стуки, воспринимаемые как комбинационные тоны.

Однако позднейшие исследования показали, что лица, у которых операцией были удалены барабанная перепонка и слуховые косточки (кроме стремени), все же могли слышать комбинационные тоны.

Современная теория основывается на теории Гельмгольца, математически доказавшего, что разностные комбинационные тоны возникают вследствие так называемой «нелинейности колебаний» системы. Эта нелинейность состоит в том, что величины смещения колебательной системы при вынужденных колебаниях не пропорциональны вынуждающей силе. А так как практически колебания каждой системы при больших амплитудах становятся нелинейными, то комбинационные тоны могут возникать в каждой колебательной системе, даже в воздухе, при звуковых волнах слишком большой амплитуды, а не только в ухе человека.

Поэтому, принято различать субъективные комбинационные тоны, возникающие в ухе, и объективные комбинационные тоны, возникающие вне уха в колебательных системах (например, в громкоговорителе).

Наиболее заметными, обычно, являются субъективные комбинационные тоны.

**Глава 6. Устроиство уха. Резонансная теория Гельмгольца**

§ 1. Человеческое ухо (рис. 3) представляет собой орган преобразующий звуковые колебания в нервные импульсы.

В анатомическом отношении в ухе различают три отдела: 1) наружное ухо, состоящее из ушной раковины и наружного слухового прохода; 2) среднее ухо - так называемая барабанная полость, которая имеет придатки - Евстахиеву трубу и сосцевидный отросток; 3) внутреннее ухо (лабиринт), состоящее из улитки (часть слуховая), преддверия и полукружных каналов (часть вестибулярная).

Если к этому присоединить и центральную часть, т. е. тот отрезок слухового нерва, который лежит вне внутреннего слухового прохода, а также слуховые пути в продолговатом и большом мозгу и центральные слуховые поля в коре височных долей, то весь комплекс будет называться слуховым аппаратом.

Наружный слуховой проход представляет собой трубку, несколько изогнутую, оканчивающуюся во внутренней своей части барабанной перепонкой. Барабанная перепонка полностью изолирует наружное ухо от среднего, т. е. барабанной полости. Перепонка имеет вид тонкой (0,1 мм толщиной) пленки. Она состоит из фиброзных волокон (радиальных и циркулярных) и по форме своей напоминает конус, Обращенный своей вершиной в полость среднего уха. В барабанной полости находятся слуховые косточки (молоточек, наковальня и стремя), соединенные между собой суставами. Рукоять молоточка врощена в самую барабанную перепонку и доходит приблизительно до середины перепонки. На внутренней стенке барабанной полости имеются два отверстия - овальное, закрытое пластинкой стремени, и круглое, затянутое перепонкой (так наз. вторичной барабанной). Евстахиева труба соединяет барабанную полость с носоглоткой и служит для уравновешивания наружного и внутреннего давления воздуха при восприятии очень сильных звуков.

Устройство внутреннего уха очень сложно, почему оно и называется лабиринтом. Слуховая часть его (улитка) имеет форму раковины морской улитки, у человека она образует 2 завитка. Вестибулярная часть состоит из преддверия или цистерны и трех полукружных каналов (вертикальный, горизонтальный и сагиттальный). Весь лабиринт наполнен жидкостью. Поперек просвета завитка улитки проходит способная колебаться основная пластинка, а на ней расположен Кортиев орган, содержащий так называемые волосатые (слуховые) клетки с подходящими к ним окончаниями слухового нерва.

В функциональном отношении ухо можно разделить на две части - звукопроводящую (ушная раковина, наружный слуховой проход, барабанная перепонка и барабанная полость, жидкость, заполняющая лабиринт) и звуковоспринимающую (слуховые клетки, окончания слухового нерва, слуховые пути в мозгу и т. д.).

Ушная раковина не играет большой роли у человека. ее, находящиеся ближе к входу в слуховой проход, несколько усиливают звук, благодаря отражению в проход падающих них звуковых волн. Кроме того, ушная раковина, видимо, помогает ориентации относительно .источника звука в пространстве вследствие некоторого изменения тембра. Это имеет место, главным образом, при слушании обоими ушами (бинаурально). Наружный слуховой проход является тем основным каналом, по которому идет звук в среднее ухо.

В физиологии слуха барабанная перепонка (так же, как и вся связанная с нею слуховая цепь) имеет большое значение для передачи низких звуков; при разрушении перепонки или слуховых косточек низкие звуки воспринимаются или плохо, или же совсем не воспринимаются, средние же и высокие, при прочих равных условиях, слышатся удовлетворительно. Функции барабанной полости, поскольку последняя содержит цепь слуховых косточек, ясны из предшествующего. Воздух, содержащийся в ней, способствует подвижности цепи слуховых косточек, что играет роль в проведении низких тонов, и кроме того, он сам по себе тоже проводит звук средних и низких тонов непосредственно пластинке стремени, а может быть - и вторичной перепонке круглого окна. Мускулы барабанной полости служат для регулирования натяжения барабанной перепонки и цепи слуховых косточек («аккомодация» к звукам различного характера) в зависимости от силы звука. Роль овального окна заключается в основной передаче звуковых колебаний лабиринту (его жидкости); круглое же окно является регулятором: при отклонении стремени внутрь давлением лабиринтной жидкости вторичная барабанная перепонка выпячивается кнаружи (вследствие несжимаемости жидкости). Известную роль в передаче звука играет и сама внутренняя (лабиринтная) стенка среднего уха.

Громадное значение в физиологии слуха имеет лабиринт. Звуковые волны, идущие через овальное окно, передают колебания лабиринтной жидкости преддверия, которая в свою очередь передает их жидкости улитки. Звуковые волны, проходящие через лабиринтную жидкость, раздражают окончание волосков соответствующих волосатых (слуховых) клеток; это раздражение, передаваясь коре головного мозга, вызывает слуховое ощущение.

§ 2. Способ восприятия звука еще не выяснен. Классическая теория резонанса Гельмгольца признает существование в лабиринте особого механического вспомогательного аппарата. Эластические волокна основной перепонки улитки, на которой покоятся слуховые клетки, по своей длине очень различны. Наиболее короткие волокна, расположенные в начальной части основного завитка, постепенно становятся длиннее, и в юнце последнего завитка (верхушки) достигают максимальной длины (в 12 раз длиннее таковых основного завитка). Это позволяет считать, что в лабиринте имеются волокна (подобные струнам), способные служить резонаторами для тонов различной высоты, что подтверждается количеством волокон (около 20000) основной перепонки улитки, которое соответствует числу тонов, воспринимаемых ухом (у человека от 16 до 20 000 к/с).

 [1] Здесь Н. А. Гарбузов (автор публикуемого отдела книги) основывается на теории Ж. Ф. Рамо, считая обертоны выше 6-го неслышимыми. В соответствии с излагаемой на нашей странице теорией все звуки должны рассматриваться не как «родственные» и «неродственные», а как далекого или близкого родства (неродства). Тогда в рамках любого созвучия нам не обязательно искать связующий звук между любыми двумя звуками с далеким родством. Этот звук может выступать только как корректирующий или уточняющий звуковысотные интонационные различия в интервалах, образуемых звуками с далеким родством, так как такие интервалы предполагают большее число слышимых интонационных вариантов, чем звуки с близким родством. (авт. страницы)

[2] В рамках изложенного в предыдущем абзаце интересно, а каким звуком опосредуется связь между основным тоном и тритоном. Они образуют интервал с семеркой в числителе или знаменателе интервального коэффициента, но во всех иных коэффициентах интервалов она отсутствует. Чисто арифметическая неувязка переходящая в принципиальную ошибку. (авт. страницы)

[3] Услышать сам звук или воспринять его в качестве изменения тембра, качества звука (созвучия) – разные стороны одного и того же, а именно – восприятия звукосочетания. (авт. страницы)

[4] Включая их октавные дублировки. (авт. страницы)

[5] Ярко выраженное ограничение 6-ым обертоном, как и в теории Ж. Ф. Рамо. (авт. страницы)

[6] Интересное замечание позволяющее наметить объяснение эффекта бесконечного глиссандо в конкретной музыке. (авт. страницы)