

# Распространение звука в пространстве и его воздействие на органы слуха человека

## План.

**1. Распространение звука в пространстве и его воздействие на органы слуха человека.**

**2. Свойства звука и его характеристики.**

**3. Шум. Музыка. Речь.**

**4. Законы распространения звука.**

**5. Инфразвук, ультразвук, гиперзвук.**

## Предисловие.

Звук – это распространяющиеся в упругих средах – газах, жидкостях и твёрдых телах – механические колебания, воспринимаемые органами слуха.

Теперь немного поразмышляем. Если, например, в горах упал камень, а рядом не было никого, кто мог бы слышать звук его падения, существовал звук или нет? На вопрос можно ответить и положительно и отрицательно в равной степени, так как слово «звук» имеет двоякое значение. Поэтому нужно условиться, что же считать звуком – физическое явление в виде распространения звуковых колебаний в воздухе или ощущения слушателя. Первое по существу является причиной, второе следствием, при этом первое понятие о звуке – объективное, второе – субъективное.

В первом случае звук действительно представляет собой поток энергии, текущей подобно речному потоку. Такой звук может изменить среду, через которую он проходит, и сам изменяется ею. Во втором случае под звуком мы понимаем те ощущения, которые возникают у слушателя при воздействии звуковой волны через слуховой аппарат на мозг. Слыша звук, человек может испытывать различные чувства. Самые разнообразные эмоции вызывает у нас тот сложный комплекс звуков, который мы называем музыкой. Звуки составляют основу речи, которая служит главным средством общения в человеческом обществе. И, наконец, существует такая форма звука, как шум. Анализ звука с позиций субъективного восприятия более сложен, чем при объективной оценке.

## Распространение звука в пространстве и его воздействие на органы слуха человека.

При достижении звуковой волной какой-либо точки пространства, частицы вещества, до того не совершавшие упорядоченных движений, начинают колебаться. Любое движущееся тело, в том числе и колеблющееся, способно совершать работу, то есть оно обладает энергией. Следовательно, распространение звуковой волны сопровождается распространением энергии. Источником этой энергии является колеблющееся тело, которое и излучает в окружающее пространство(вещество) энергию.

Органы слуха человека способны воспринимать колебания с частотой от 15-20 герц до 16-20 тысяч герц. Механические колебания с указанными частотами называются звуковыми или акустическими(акустика – учение о звуке)

Итак, звук – это волновой колебательный процесс, происходящий в упругой среде и вызывающий слуховое ощущение. Однако восприимчивость человека к звукам избирательна, поэтому мы говорим о слышимых и неслышимых звуках. Совокупность тех и других в общем напоминает спектр солнечных лучей, в котором есть видимая область – от красного до фиолетового цвета и две невидимые – инфракрасная и ультрафиолетовая. По аналогии с солнечным спектром звуки, которые не воспринимаются человеческим ухом, называются инфразвуками, ультразвуками и гиперзвуками.

Что же происходит в органах слуха с различными системами и процессами преобразования слуха? Рассмотрим строение слухового аппарата человека.

Наружное ухо состоит из ушной раковины и слухового прохода, соединяющих её с барабанной перепонкой. Основная функция наружного уха – определение направления на источник звука. Слуховой проход представляющий сужающуюся внутрь трубку длиной в два сантиметра, предохраняет внутренние части уха и играет роль резонатора. Слуховой проход заканчивается барабанной перепонкой – мембраной, которая колеблется под действием звуковых волн. Именно здесь, на внешней границе среднего уха, и происходит преобразование объективного звука в субъективный. За барабанной перепонкой расположены три маленьких соединённых между собой косточки: молоточек, наковальня и стремя, с помощью которых колебания передаются внутреннему уху.

Там, в слуховом нерве, они преобразуются в электрические сигналы. Малая полость, где находится молоточек, наковальня и стремя, наполнена воздухом и соединена с полостью рта евстахиевой трубой. Благодаря последней поддерживается одинаковое давление на внутреннюю и внешнюю сторону барабанной перепонки. Обычно евстахиева труба закрыта, а открывается лишь при внезапном изменении давления (при зевании, глотании) для выравнивания его. Если у человека евстахиева труба закрыта, например, в связи с простудным заболеванием, то давление не выравнивается, и человек ощущает боль в ушах.

Далее колебания передаются от барабанной перепонки к овальному окну, которое является началом внутреннего уха.

Сила, действующая на барабанную перепонку, равна произведению давления на площадь барабанной перепонки.

Но настоящие таинства слуха начинаются с овального окна. Звуковые волны распространяются в жидкости (перилимфе), которой наполнена улитка. Этот орган внутреннего уха, по форме напоминающий улитку, имеет длину три сантиметра и по всей длине разделён перегородкой на две части. Звуковые волны доходят до перегородки, огибают её и далее распространяются по направлению почти к тому же месту, где они впервые коснулись перегородки, но уже с другой стороны.

Перегородка улитки состоит из основной мембраны, очень толстой и тугой. Звуковые колебания создают на её поверхности волнообразную рябь, при этом гребни для разной частоты лежат в совершенно определённых участках мембраны.

Механические колебания преобразуются в электрические в специальном органе (органе Корти), размещённом над верхней частью основной мембраны.

Над органом Корти расположена текториальная мембрана. Оба эти органа погружены в жидкость – эндолимфу и отделены от остальной части улитки мембраной Рейснера. Волоски, растущие из органа Корти почти пронизывают текториальную мембрану, и при возникновении звука они соприкасаются – происходит преобразование звука, теперь он закодирован в виде электрических сигналов.

Заметную роль в усилении нашей способности к восприятию звуков играет кожный покров и кости черепа, что обусловлено их хорошей проводимостью. Например, если приложить ухо к рельсу, то движение приближающегося поезда можно обнаружить задолго до его появления.

## **Свойства звука и его характеристики.**

Основные физические характеристики звука – частота и интенсивность колебаний. Они и влияют на слуховое восприятие людей.

Периодом колебания называется время, в течение которого совершается одно полное колебание. Можно привести в пример качающийся маятник, когда он из крайнего левого положения перемещается в крайнее правое и возвращается обратно в исходное положение.

Частота колебаний – это число полных колебаний (периодов) за одну секунду. Эту единицу называют герцем (Гц). Чем больше частота колебаний, тем более высокий звук мы слышим, то есть звук имеет более высокий тон. В соответствии с принятой международной системой единиц, 1000 Гц называется килогерцем (кГц), а 1.000.000 – мегагерцем (МГц).

Распределение по частотам: слышимые звуки – в пределах 15 Гц–20 кГц, инфразвуки – ниже 15 Гц; ультразвуки – в пределах  $1,5 \cdot 10^4 - 10^9$  Гц; гиперзвуки – в пределах  $10^9 - 10^{13}$  Гц.

Ухо человека наиболее чувствительно к звукам с частотой от 2000 до 5000 кГц. Наибольшая острота слуха наблюдается в возраст 15–20 лет. С возрастом слух ухудшается.

С периодом и частотой колебаний связано понятие о длине волны. Длиной звуковой волны называется расстояние между двумя последовательными сгущениями или разрежениями среды. На примере волн, распространяющихся на поверхности воды, – это расстояние между двумя гребнями.

Звуки различаются также по тембру. Основной тон звука сопровождается второстепенными тонами, которые всегда выше по частоте (обертон). Тембр – это качественная характеристика звука. Чем больше обертонов накладывается на основной тон, тем «сочнее» звук в музыкальном отношении.

Вторая основная характеристика – амплитуда колебаний. Это наибольшее отклонение от положения равновесия при гармонических колебаниях. На примере с маятником – максимальное отклонение его в крайнее левое положение, либо в крайнее правое положение. Амплитуда колебаний определяет интенсивность (силу) звука.

Сила звука, или его интенсивность, определяется количеством акустической энергии, протекающей за одну секунду через площадь в один квадратный сантиметр. Следовательно, интенсивность акустических волн зависит от величины акустического давления, создаваемого источником в среде.

С интенсивностью звука в свою очередь связана громкость. Чем больше интенсивность звука, тем он громче. Однако эти понятия не равнозначны. Громкость – это мера силы слухового ощущения, вызываемого звуком. Звук одинаковой интенсивности может создавать у различных людей неодинаковое по своей громкости слуховое восприятие. Каждый человек обладает своим порогом слышимости. Звуки очень большой интенсивности человек перестаёт слышать и воспринимает их как ощущение давления и даже боли. Такую силу звука называют порогом болевого ощущения.

## **Шум. Музыка. Речь.**

С точки зрения восприятия органами слуха звуков, их можно разделить в основном на три категории: шум, музыка и речь. Это разные области звуковых явлений, обладающие специфической для человека информацией.

Шум – это бессистемное сочетание большого количества звуков, то есть слияние всех этих звуков в один нестройный голос. Считается, что шум – это категория звуков, которая мешает человеку или раздражает. Люди выдерживают лишь определённую дозу шума. Но если проходит час – другой, и шум не прекращается, то появляется напряжение, нервозность и даже боль.

Звуком можно убить человека. В средние века существовала даже такая казнь, когда человека сажали под колокол и начинали в него бить. Постепенно колокольный звон убивал человека. Но это было в средние века. В наше время появились сверхзвуковые самолёты. Если такой самолёт пролетит над городом на высоте 1000-1500 метров, то в домах лопнут стёкла.

Музыка – это особое явление в мире звуков, но, в отличие от речи, она не передаёт точных смысловых или лингвистических значений. Эмоциональное насыщение и приятные музыкальные ассоциации начинаются в раннем детстве, когда у ребёнка ещё словесного общения. Ритмы и напевы связывают его с матерью, а пение и танцы являются элементом общения в играх. Роль музыки в жизни человека настолько велика, что в последние годы медицина приписывает ей целебные свойства.

С помощью музыки можно нормализовать биоритмы, обеспечить оптимальный уровень деятельности сердечно-сосудистой системы.

А ведь стоит лишь вспомнить, как солдаты идут в бой. Исполнок веков песня была непременным атрибутом солдатского марша.

Речь – важнейшее средство мышления и общения людей. Речь состоит из более или менее длительных шумов и тонов, составляющих группы. Овладение речью происходит ещё в младенческом возрасте, когда ребёнок ещё только слушает и пытается воспроизвести самые несложные и легко произносимые слова: «мама» и «папа».

## **Законы распространения звука.**

К основным законам распространения звука относятся законы его отражения и преломления на границах различных сред, а также дифракция звука и его рассеяние при наличии препятствий и неоднородностей в среде и на границах раздела сред.

На дальность распространения звука оказывает влияние фактор поглощения звука, то есть необратимый переход энергии звуковой волны в другие виды энергии, в частности, в тепло. Важным фактором является также направленность излучения и скорость распространения звука, которая зависит от среды и её специфического состояния.

От источника звука акустические волны распространяются во все стороны. Если звуковая волна проходит через сравнительно небольшое отверстие, то она распространяется во все стороны, а не идёт направленным пучком. Например, уличные звуки, проникающие через открытую форточку в комнату, слышны во всех её точках, а не только против окна.

Характер распространения звуковых волн у препятствия зависит от соотношения между размерами препятствия и длиной волны. Если размеры препятствия малы по сравнению с длиной волны, то волна обтекает это препятствие, распространяясь во все стороны.

Звуковые волны, проникая из одной среды в другую, отклоняются от своего первоначального направления, то есть преломляются. Угол преломления может быть больше или меньше угла падения. Это зависит от того, из какой среды в какую проникает звук. Если скорость звука во второй среде больше, то угол преломления будет больше угла падения, и наоборот.

Встречая на своём пути препятствие, звуковые волны отражаются от него по строго определённому правилу – угол отражения равен углу падения – с этим связано понятие эха. Если звук отражается от нескольких поверхностей, находящихся на разных расстояниях, возникает многократное эхо.

Звук распространяется в виде расходящейся сферической волны, которая заполняет всё больший объём. С увеличением расстояния, колебания частиц среды ослабевают, и звук рассеивается. Известно, что для

увеличения дальности передачи звук необходимо концентрировать в заданном направлении. Когда мы хотим, например, чтобы нас услышали, мы прикладываем ладони ко рту или пользуемся рупором. Большое влияние на дальность распространения звука оказывает дифракция, то есть искривление звуковых лучей. Чем разнороднее среда, тем больше искривляется звуковой луч и, соответственно, тем меньше дальность распространения звука.

## **Инфразвук, ультразвук, гиперзвук.**

Инфразвук – упругие колебания и волны с частотами, лежащими ниже области слышимых человеком частот. Обычно за верхнюю границу инфразвукового диапазона принимают 15-4 Гц; такое определение условно, поскольку при достаточной интенсивности слуховое восприятие возникает и на частотах в единицы Гц, хотя при этом исчезает тональный характер ощущения, и делаются различимыми лишь отдельные циклы колебаний. Нижняя частотная граница инфразвука неопределённая. В настоящее время область его изучения простирается вниз примерно до 0,001 Гц. Таким образом диапазон инфразвуковых частот охватывает около 15-ти октав.

Инфразвуковые волны распространяются в воздушной и водной среде, а также в земной коре (в этом случае их называют сейсмическими и их изучает сейсмология). К инфразвукам относятся также низкочастотные колебания крупногабаритных конструкций, в частности транспортных средств, зданий. Основная особенность инфразвука, обусловленная его низкой частотой, – это малое поглощение. При распространении в глубоком море и в атмосфере на уровне земли инфразвуковые волны частоты 10-20 Гц затухают на расстоянии 1000 км не более чем на несколько Дб (децибелл). Из-за большой длины волны на инфразвуковых частотах мало и рассеяние звука в естественных средах; заметное рассеяние создают лишь очень крупные объекты – холмы, горы, крупные здания и др.. Вследствие малого поглощения и рассеяния инфразвук может распространяться на очень большие расстояния. Известно, что звуки извержения вулканов, атомных взрывов могут многократно обходить вокруг земного шара, сейсмические волны могут пересекать всю толщу Земли. По этим же причинам инфразвук почти невозможно изолировать, и все звукопоглощающие материалы теряют свою эффективность на инфразвуковых частотах.

Источниками инфразвука, связанными с человеческой деятельностью, являются взрывы, орудийные выстрелы, ударные волны от сверхзвуковых самолётов, акустическое излучение реактивных двигателей и др.. Всякий очень громкий звук несёт с собой, как правило, и инфразвуковую энергию. Характерно, что излучением инфразвука сопровождается процесс речеобразования. Существенный вклад в инфразвуковое загрязнение среды дают транспортные шумы как аэродинамического, так и вибрационного происхождения. Установлено, что инфразвук с высоким уровнем интенсивности (120Дб и более) оказывает вредное влияние на человеческий организм. Ещё более вредными являются инфразвуковые вибрации, поскольку при их воздействии могут возникать опасные резонансные явления отдельных органов. Мощный инфразвук может вызывать разрушение и повреждение конструкций, оборудования. Вместе с тем инфразвук вследствие большой дальности распространения находит полезное практическое применение при исследовании океанической среды, верхних слоёв атмосферы, при определении места извержения или взрыва. Инфразвуковые волны, излучаемые при подводных извержениях, позволяют предсказать возникновение цунами.

Ультразвук – упругие волны с частотами приблизительно от  $(1,5 - 2) \cdot 10^4$  Гц (15 – 20 кГц) до  $10^9$  Гц (1ГГц); область частотных волн от  $10^9$  до  $10^{12} - 10^{13}$  Гц принято называть гиперзвуком. По частоте ультразвук удобно подразделять на 3 диапазона: ультразвук низких частот ( $1,5 \cdot 10^4 - 10^5$  Гц), ультразвук средних частот ( $10^5 - 10^7$  Гц), область высоких частот ультразвука ( $10^7 - 10^9$  Гц). Каждый из этих диапазонов характеризуется своими специфическими особенностями генерации, приёма, распространения и применения.

По физической природе ультразвук представляет собой упругие волны, и в этом он не отличается от звука, поэтому частотная граница между звуковыми и ультразвуковыми волнами условна. Однако благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн, имеет место ряд особенностей распространения ультразвука.

Ввиду малой длины волны ультразвука, характер его определяется прежде всего молекулярной структурой среды. Ультразвук в газе, и в частности в воздухе, распространяется с большим затуханием. Жидкости и твёрдые тела представляют собой, как правило, хорошие проводники ультразвука, – затухание в них значительно меньше. Поэтому области использования ультразвука средних и высоких частот относятся почти исключительно к жидкостям и твёрдым телам, а в воздухе и в газах применяют ультразвук только низких частот.

Ультразвуковым волнам было найдено больше всего применения во многих областях человеческой деятельности: в промышленности, в медицине, в быту, ультразвук использовали для бурения нефтяных скважин и т.д. От искусственных источников можно получить ультразвук интенсивностью в несколько сотен Вт/см<sup>2</sup>.

Ультразвуки могут издавать и воспринимать такие животные, как собаки, кошки, дельфины, муравьи, летучие мыши и др. Летучие мыши во время полёта издают короткие звуки высокого тона. В своём полёте они руководствуются отражениями этих звуков от предметов, встречающихся на пути; они могут даже

ловить насекомых, руководствуясь только эхом от своей мелкой добычи. Кошки и собаки могут слышать очень высокие свистящие звуки (ультразвуки).

Гиперзвук – это упругие волны с частотами от  $10^9$  до  $10^{12}$  –  $10^{13}$  Гц. По физической природе гиперзвук ничем не отличается от звуковых и ультразвуковых волн. Благодаря более высоким частотам и, следовательно, меньшей, чем в области ультразвука, длинам волн значительно более существенными становятся взаимодействия гиперзвука с квазичастицами в среде – с электронами проводимости, тепловыми фононами и др.. Гиперзвук также часто представляют как поток квазичастиц – фононов.

Область частот гиперзвука соответствует частотам электромагнитных колебаний дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов (так называемые сверхвысокие частоты). Частота  $10^9$  Гц в воздухе при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре должна быть одного порядка с длиной свободного пробега молекул в воздухе при этих же условиях. Однако упругие волны могут распространяться в среде только при условии, что их длина волны заметно больше длины свободного пробега частиц в газах или больше межатомных расстояний в жидкостях и твёрдых телах. Поэтому в газах (в частности в воздухе) при нормальном атмосферном давлении гиперзвуковые волны распространяться не могут. В жидкостях затухание гиперзвука очень велико и дальность распространения мала. Сравнительно хорошо гиперзвук распространяется в твёрдых телах – монокристаллах, особенно при низкой температуре. Но даже в таких условиях гиперзвук способен пройти расстояние лишь в 1, максимум 15 сантиметров.

### ***Список использованной литературы.***

***1. Хорбенко Иван Григорьевич: «За пределами слышимого»; 2-е издание, 1986г..***

***2. Клюкин Игорь Иванович: «Удивительный мир звука»; 2-е издание, 1986г..***

***3. Кошкин Н. И., Ширкевич М.Г.: «Справочник по элементарной физике»; 10-е изд., 1988г.***

***4. Интернет: онлайн-библиотека Мошкова ([www.lib.ru](http://www.lib.ru)). Научно-популярная литература, Физика – онлайн-энциклопедия в 5 томах, «З», ультразвук, инфразвук, гиперзвук.***

<http://profconstruct.com/articles/>