

Кафедра медицинской и биологической физики

Тема: Механические волны. Звук, Ультразвук.



лекция №2

для студентов 1 курса, обучающихся по
специальности 31.05.01 – Лечебное дело

К.п.н., доцент Шилина Н.Г.

Красноярск, 2019

Цель лекции:

- Ознакомить обучающихся с основными характеристиками механических волн и возможностями использования их в медико-биологической практике.

План лекции

- 1. Волны в упругой среде. Уравнение волны. Характеристики.**
- 2. Физические основы биологической акустики**
- 3. Звуковые методы исследования в клинике**
- 4. Ультразвуковые колебания. Воздействия ультразвука на биологические ткани**
- 5. Эффект Доплера и его применение в медицине.**

Механические волны

Механической волной называют механические возмущения, распространяющиеся в пространстве и несущие энергию.

Различают два основных вида механических волн: упругие волны – распространение упругих деформаций и волны на поверхности жидкости.

Схема распространения волны

$$s = A \sin \omega t$$
$$s = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

S – смещение, x – координата, v – скорость волны

Если s и x направлены вдоль одной прямой, то волна *продольная*, если они взаимно перпендикулярны, то волна *поперечная*.

Фазовая и групповая скорости

Скорость распространения фиксированной фазы колебаний называют фазовой.

$$\varphi = \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) = \text{const} \qquad 0 = \omega \left(dt - \frac{dx}{v} \right)$$

Фазовая скорость равна $v = \frac{dx}{dt}$

Групповая скорость описывает реальную волну, представленную суммой группы синусоидальных волн

Дифференциальное уравнение

ВОЛНЫ

$$S = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{dS}{dt} = A \omega \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -A \omega^2 \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = v^2 \frac{d^2 S}{dx^2}$$

$$S = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{dS}{dx} = -A \frac{\omega}{v} \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{d^2 S}{dx^2} = -A \frac{\omega^2}{v^2} \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{d^2 S}{dx^2} = \frac{1}{v^2} \frac{d^2 S}{dt^2}$$

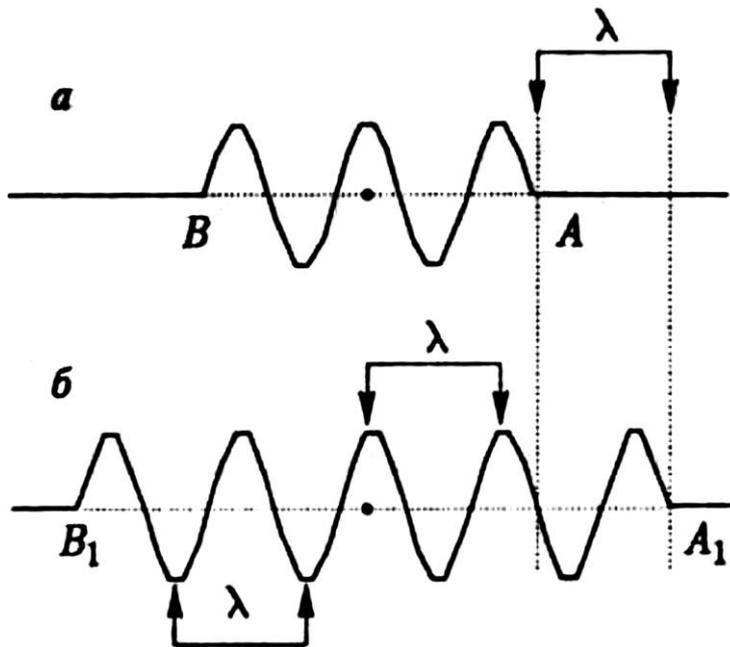
Дифференциальное уравнение механической волны

Длина волны

Расстояние между двумя точками, фазы которых в один и тот же момент времени отличаются на 2π называется длиной волны

$$\lambda = T\nu$$

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \lambda = \frac{\nu}{\nu}$$



Характеристики волны

- 1. Поток энергии (Φ)**
- 2. Объемная плотность энергии (W_p)**
- 3. Интенсивность волны (плотность потока энергии волны) (I)**

Поток энергии волн

Поток энергии волн равен отношению энергии, переносимой волнами через некоторую поверхность, к времени, в течение которого эта энергия перенесена

$$\Phi = \frac{dE}{dt} \text{ (Вт)}$$

Объемная плотность энергии

Средняя энергия колебательного движения, приходящаяся на единицу объема среды называется объемной плотностью энергии

$$\omega_{\rho} = \frac{E}{V} = \frac{E}{S \cdot l} = \frac{E}{S \cdot v \cdot t} \quad \text{Вт/м}^3$$
$$t = lc$$

$$\omega_{\rho} = \frac{E}{S \cdot v} \qquad \omega_{\rho} = \frac{\rho A^2 \omega^2}{2}$$

Плотность потока энергии (интенсивность)

$$I = \frac{\Phi}{S} \text{ Вт/м}^2$$

$$\Phi = \omega_{\rho} \cdot S \cdot \nu$$

$$I = \omega_{\rho} \cdot \nu$$

Вектор Умова

Вектор Умова указывает направление, вдоль которого переносится энергия волн с определенной скоростью

$$\vec{I} = \omega_{\rho} \cdot \vec{v}$$

Физические основы биологической акустики

Звук – это колебания частиц среды, распространяющиеся в виде продольных механических волн с частотой от 16 Гц до 20000 Гц (20 кГц).

Энергетическая характеристика звука

Интенсивностью волны I называют величину, численно равную средней по времени энергии E , переносимой волной в единицу времени через единицу площади поверхности, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны:

$$I = \frac{E}{St} \quad \text{Дж}/(\text{м}^2 \text{ с}) = \text{Вт}/\text{м}^2$$

Звуковое или акустическое давление

Звуковым или акустическим давлением называют добавочное давление (избыточное над средним давлением окружающей среды, например над атмосферным давлением), образующееся в участках сгущения частиц в акустической волне

$$P_A = A\omega\rho v$$

где A – амплитуда волны ω – циклическая частота волны, ρ – плотность вещества, v – скорость распространения волны в веществе

Связь интенсивности и акустического давления

$$I = \frac{p_A^2}{2\rho v}$$

$$I = \left(\rho A^2 \frac{\omega^2}{2}\right)v$$

Виды звуков:

Тон – это звук, являющийся периодическим процессом

Шум - это звук, отличающийся сложной не повторяющейся временной зависимостью

Звуковой удар – кратковременное звуковое воздействие

Объективные характеристики звука

Частота – количество колебаний в
единицу времени

Интенсивность

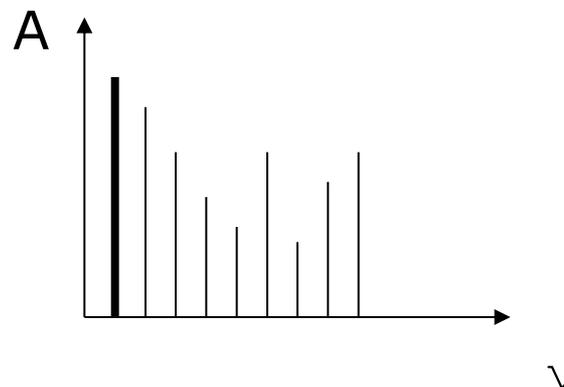
Звуковое давление

**Акустический или гармонический
спектр**

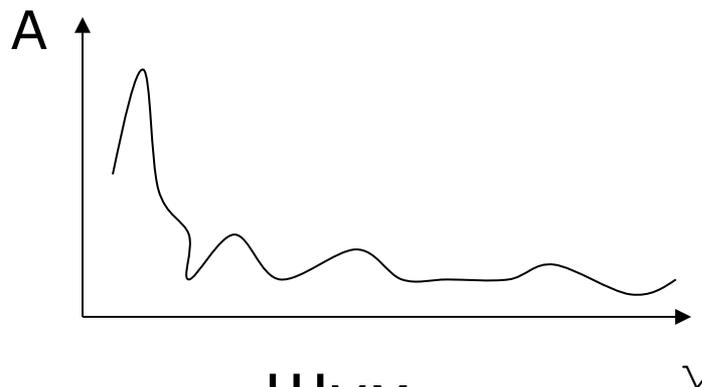
Акустические спектры



Простой тон



Сложный тон



Шум

Звук как психофизическое явление

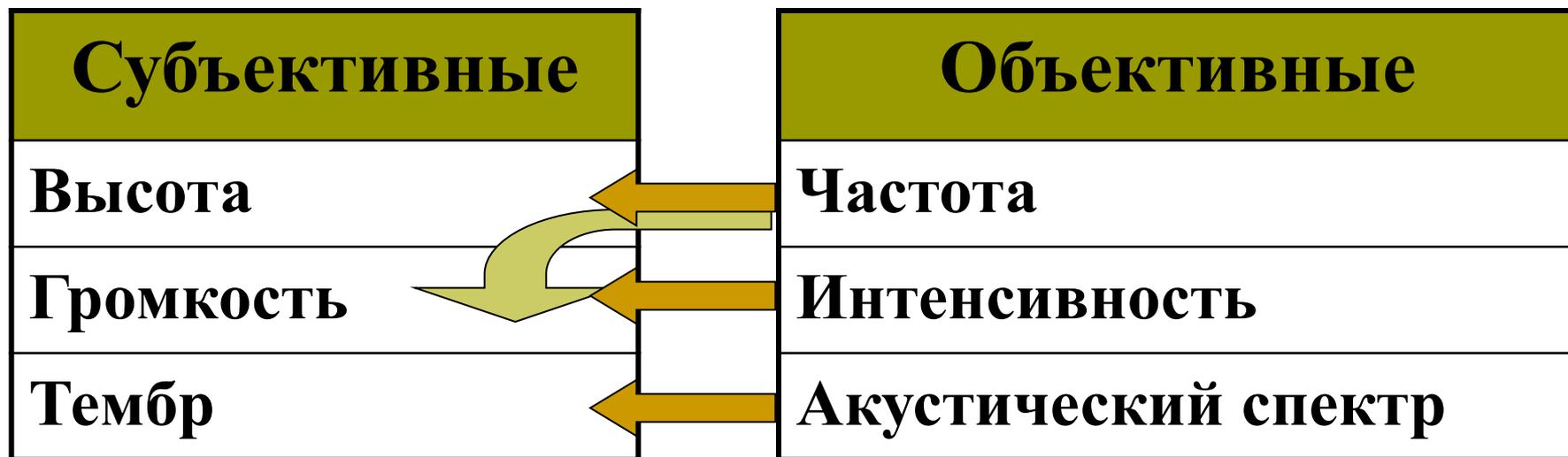
Субъективные характеристики звука:

высота – обусловленная частотой основного тона,

тембр – определяется спектральным составом звука,

громкость - уровень слухового ощущения; определяется интенсивностью и частотой звука

Характеристики слухового (субъективного) ощущения



Уровень интенсивности

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \text{ Б(бел)}$$

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ дБ(децибел)}$$

$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ интенсивность на пороге слышимости на частоте 1 кГц

Уровень интенсивности

$$L_B = 2 \lg \frac{p}{p_0}$$

$$L_{\partial B} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ - Порог слышимости

Закон Вебера – Фехнера (1858г)

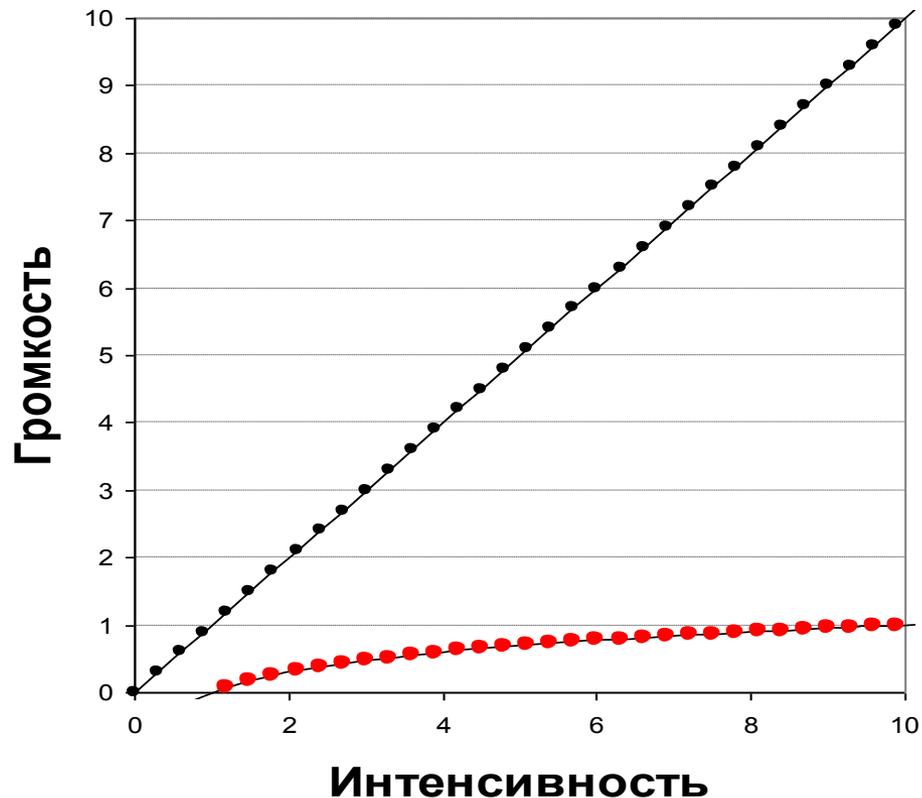
Если интенсивность звука увеличивается в геометрической прогрессии, то ощущение громкости этого звука возрастает в арифметической прогрессии

$$E = \kappa \lg \frac{I}{I_0}$$

κ – коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты и интенсивности

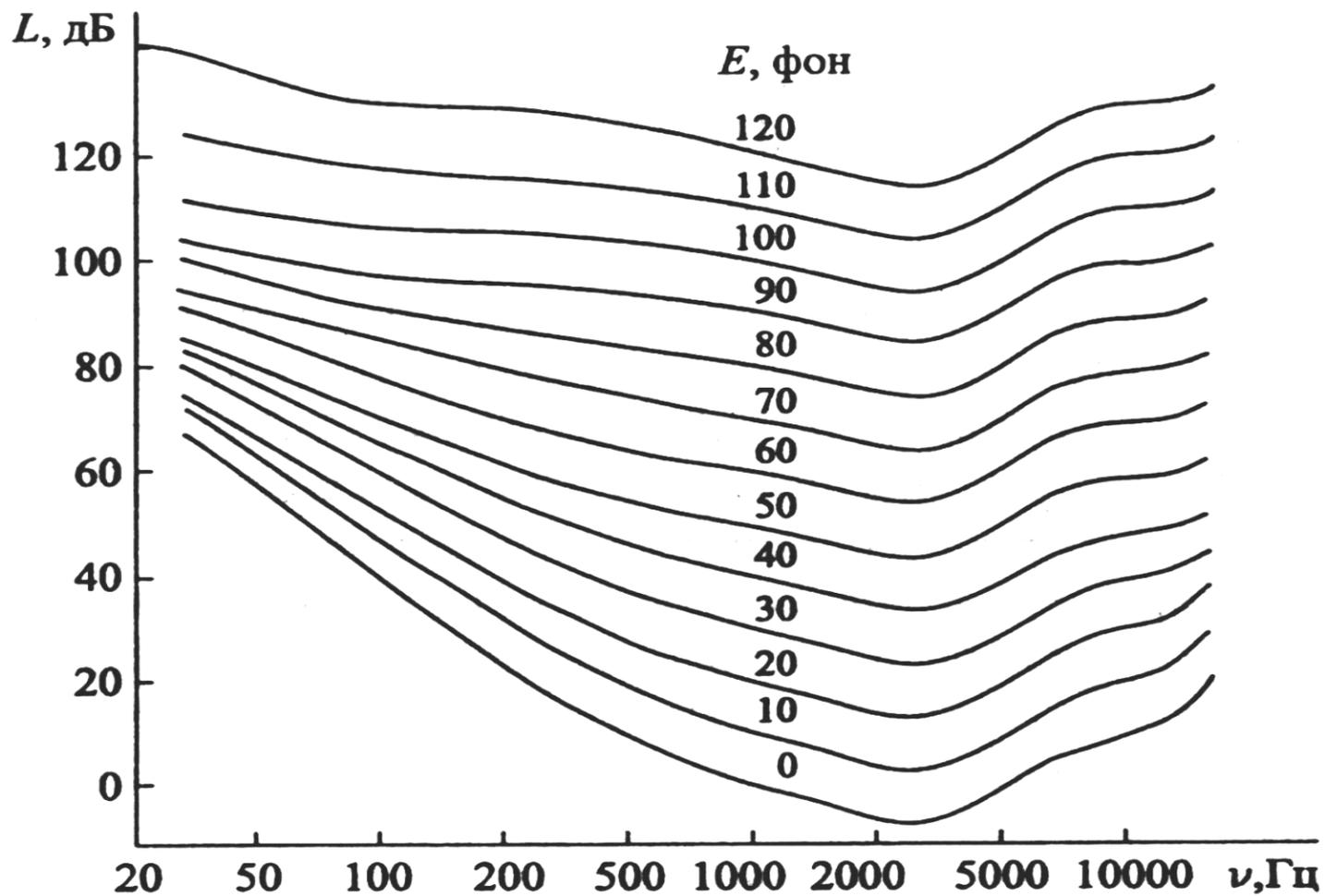
Громкость и интенсивность

$$E = k(\nu, I) \cdot \lg(I / I_0) = k(\nu, I) \cdot L$$



**E – громкость,
L – уровень
ИНТЕНСИВНОСТИ.**

Кривые равной громкости



Громкость звука E

Громкость звука измеряется в фонах

На частоте 1кГц $K=1$

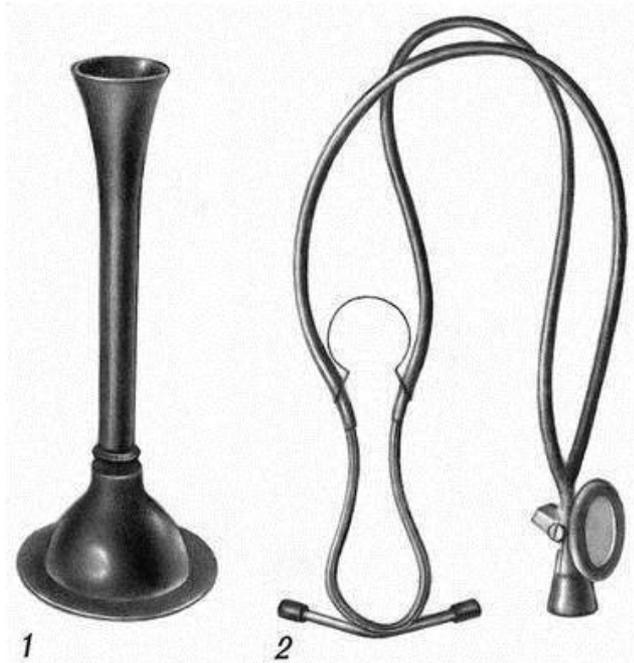
$$E = 10 * \lg \frac{I}{I_0} \quad \Phi(\text{фон})$$

Примеры

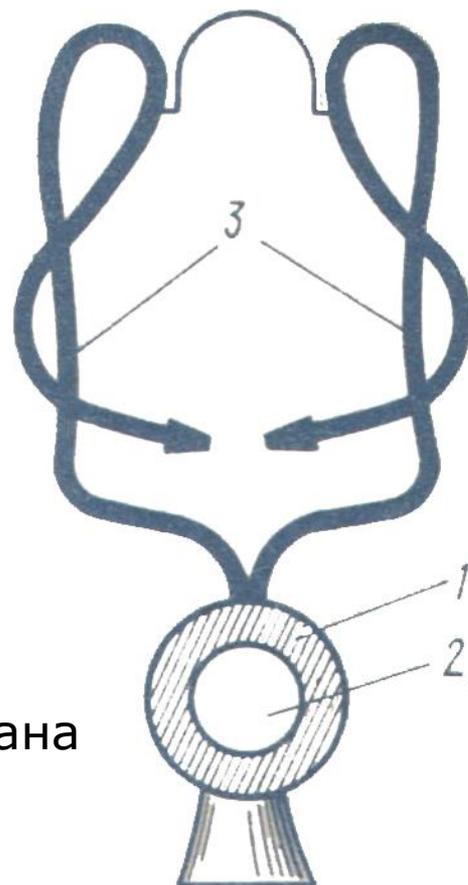
Примерный характер звука	Интенсивность звука (Вт/м ²)	Звуковое давление (Па)	Уровень интенсивности звука (Дб)
Порог слышимости	10^{-12}	0,00002	0
Шепот	10^{-10}	0,0002	20
Разговор нормальным голосом	10^{-7}	0,0064	50
Разговор громким голосом	10^{-6}	0,02	60
Шум на оживленной улице	10^{-5}	0,64	80
Крик	10^{-4}	0,2	80
Порог болевого ощущения	10	64	130

Звуковые методы в медицине

Аускультация (выслушивание) – с помощью стетоскопа или фонендоскопа



- 1 – полая капсула
- 2 – передающая звук мембрана
- 3 – резиновые трубки



Аускультация

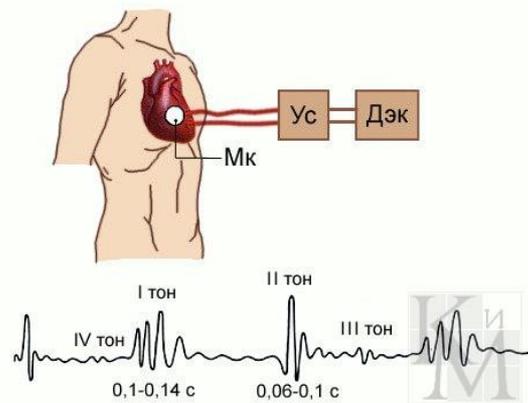


Звуковые методы в медицине

Перкуссия – выслушивание звучания отдельных частей тела при их простукивании



Фонокардиография (ФКГ) – графическая регистрация тонов и шумов сердца



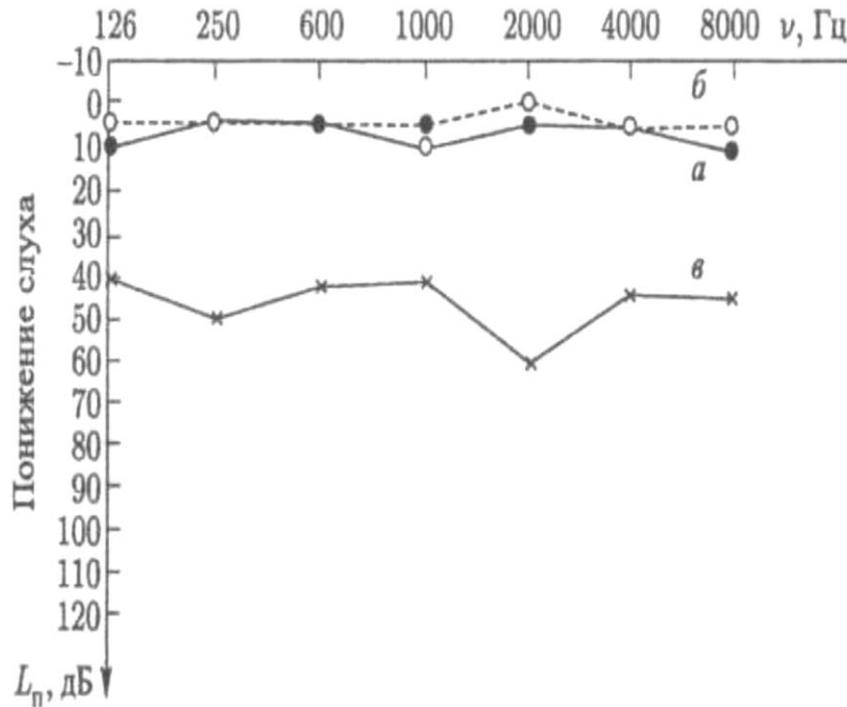
Диагностика органов слуха

Метод измерения остроты слуха называется **аудиометрией**.

На специальном приборе (**аудиометре**) определяют порог слухового ощущения на разных частотах.



Аудиограммы



кривые, которые отражают зависимость порога восприятия от частоты тона, то есть это спектральная характеристика уха на пороге слышимости.

Биофизика ультразвука

Ультразвуком (УЗ) называют механические волны, частоты которых более 20 кГц

Скорость УЗ и звука определяется плотностью среды. Зависимость прямая.

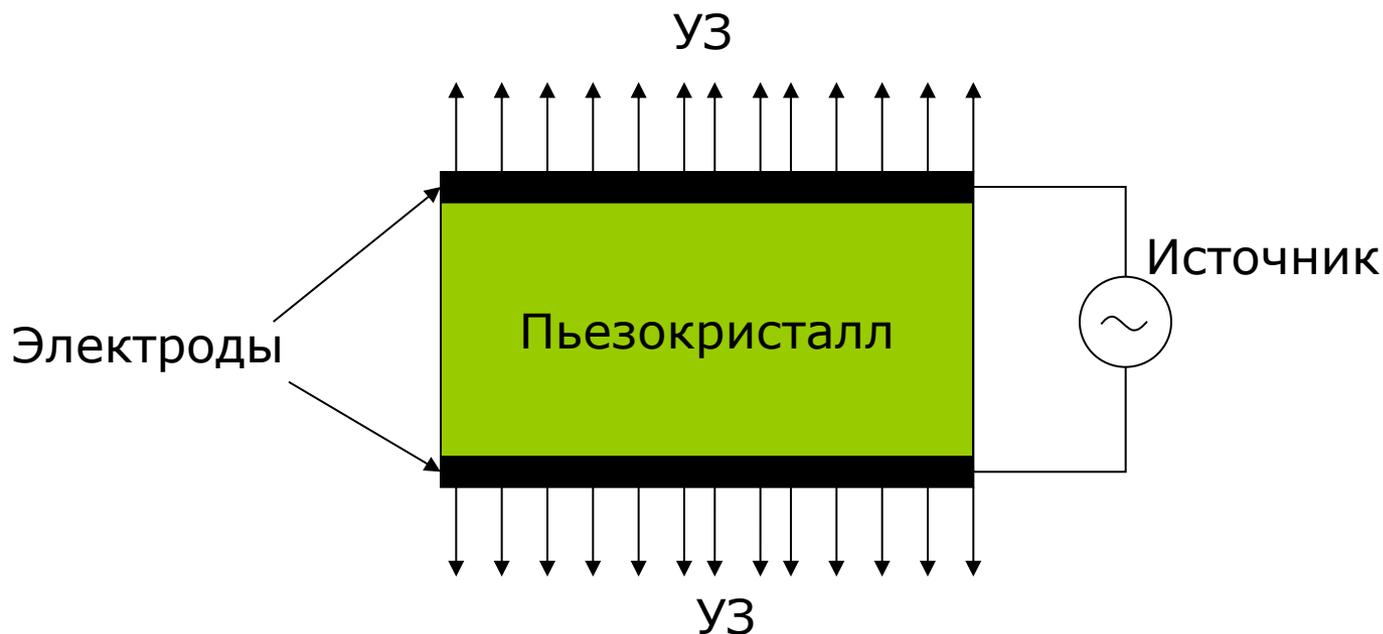
Получение ультразвуковых колебаний

Электромеханические излучатели:

1. Основанные на явлении обратного пьезоэлектрического эффекта (высокочастотный УЗ)
2. Основанные на явлении магнитострикции (низкочастотный УЗ)

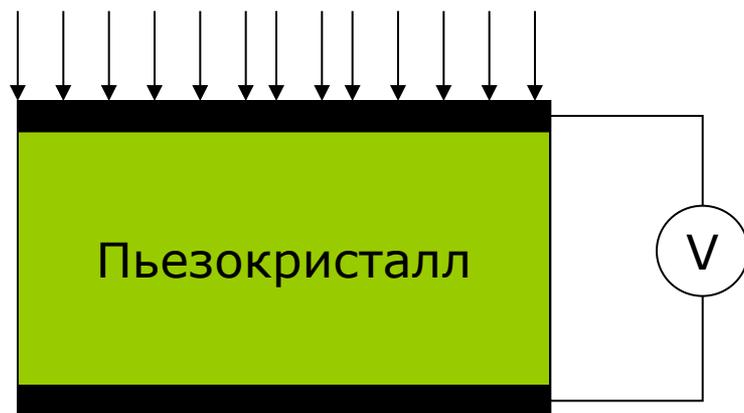
Обратный пьезоэффект

Под действием электрического поля происходит механическая деформация пьезокристалла



Прямой пьезоэффект

Под действием механических деформаций пьезокристалла возникает электрическое напряжение на гранях



Особенности распространения УЗ

- Малая длина волны. Направленность. (Применимы законы геометрической оптики)
- Поглощение (ослабление интенсивности при прохождении через вещество)

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

-
- Глубина полупоглощения – глубина, на которой интенсивность УЗ уменьшается вдвое.

Ткань	Глубина полупоглощения, см
Мышечная	2,1
Жировая	3,3
Костная	0,23
Кровь	35

Особенности распространения УЗ

- Преломление и отражение
Так как волновое сопротивление биологических сред в 3000 раз больше волнового сопротивления воздуха, то отражение УЗ на границе воздух-кожа составляет 99,99%.
- Деформация, кавитация (возникает при интенсивностях, больших $0,8 \cdot 10^4$ Вт/м²)
- Выделение тепла
- Химические реакции

Физические процессы, обусловленные воздействием УЗ

- микровибрация на клеточном и субклеточном уровне,
- разрушение биомакромолекул,
- перестройка и повреждение биологических мембран, изменение проницаемости мембран,
- тепловое действие,
- разрушение клеток и микроорганизмов

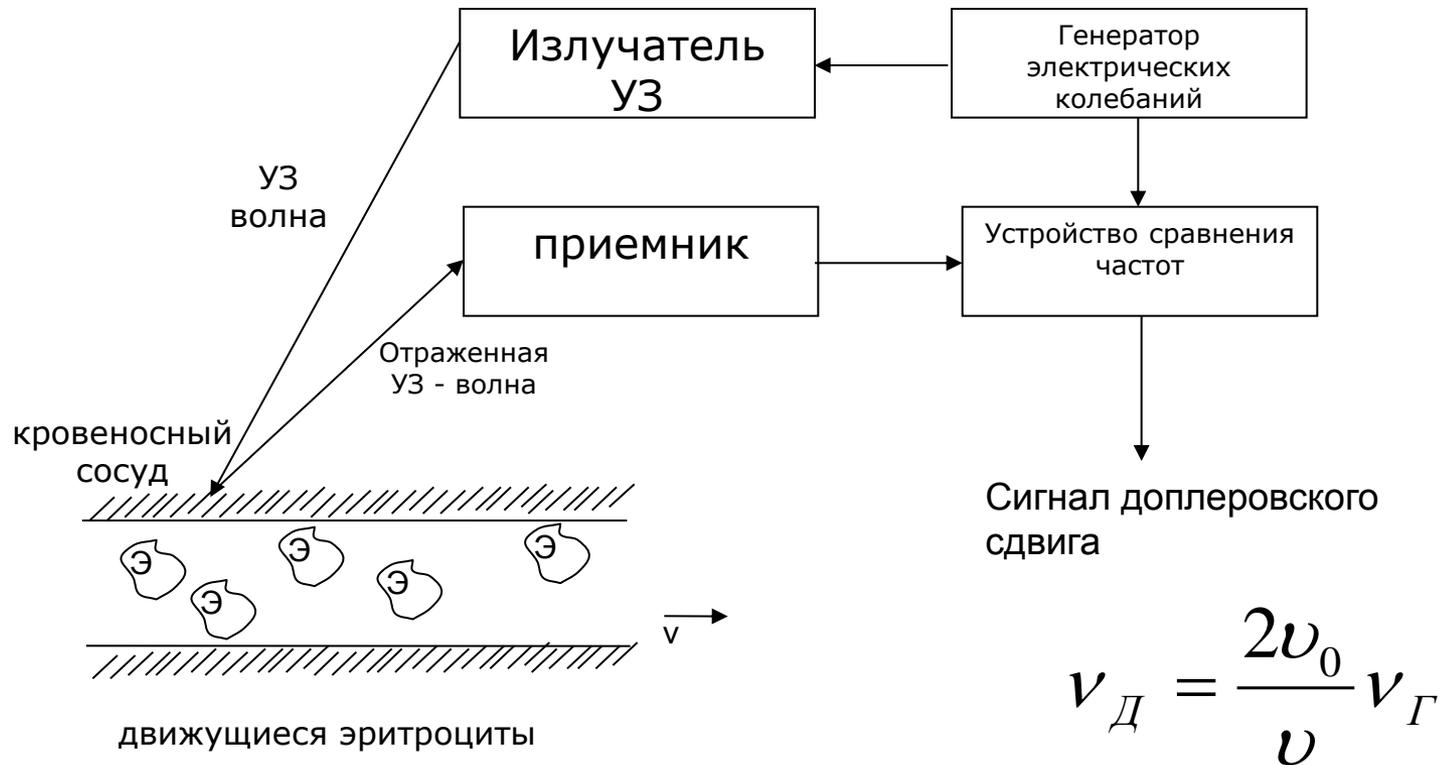
Эффект Доплера

Эффектом Доплера называют изменение частоты волн, воспринимаемых наблюдателем (приемником волн), вследствие относительного движения источника волн и наблюдателя.

$$\nu' = \frac{U + U_H}{U - U_U} \nu$$

$$\nu' = \frac{U - U_H}{U + U_U} \nu$$

Диагностика на основе эффекта Доплера



v_0 – скорость движения эритроцитов

u – скорость УЗ

v_G – частота генератора

v_D – доплеровский сдвиг частот

Ультразвуковая диагностика – ЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Эхоэнцефалография – определение опухолей и отека головного мозга

Ультразвуковая кардиография – измерение размеров сердца в динамике

Ультразвуковая локация для определения размеров глазных сред

Ультразвуковая диагностика

Ультразвуковой Доплер эффект – изучают характер движения сердечных клапанов; определяют скорость кровотока

По скорости ультразвука определяют место повреждения кости

Ультразвуковая голография

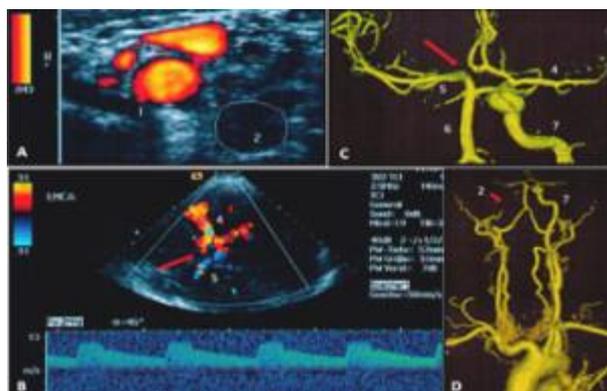
Ультразвуковая доплерография



С помощью УЗДГ можно определить нарушения или сбои в работе артерий и вен, более мелких сосудов, образование аневризмы или стеноз сосудов.

Назначают при:

Остеохондрозе, Черепно-мозговых травмах;
Инсультах; Ишемической болезни;
Вегетососудистой дистонии; Сахарном диабете;
Избыточным весе;
Гипертонии или заболеваний, с ней связанных.



Исследование сосудов нижних конечностей назначают:

При варикозном расширении вен;
Отёчности ног;
Жжение и онемение в нижних конечностях;
При избыточном весе;
Сосудистой сеточке.

Ультразвуковая физиотерапия

Терапевтическое действие ультразвука обусловлено механическим, тепловым и физико-химическим факторами

Фонофорез - введение с помощью ультразвука в ткани через поры кожи некоторых лекарственных веществ (гидрокортизона, тетрациклина и др.).

Ультразвуковая хирургия

Ультразвуковой скальпель –
рассечение тканей

Ультразвуковой остеосинтез –
«сваривания» тканей

Удаление опухолей в мозговой ткани
без вскрытия черепной коробки

Дробление почечных камней

Практическое применение УЗ

В фармацевтической промышленности – создание эмульсий, лекарств, аэрозолей

В хирургии - стерилизация медицинских инструментов

Для ориентировки слепых в пространстве

Аппарат Sono-Ace-PICO



Позволяет проводить диагностику при:

- повреждении мышц
- повреждении мышц ротаторных манжет плечевых суставов
- повреждении мениско-связочного комплекса коленных суставов
- повреждении сухожильно-связочного аппарата всех суставов
- наличии дисковых патологий (грыжи, протрузии, стеноз позвоночного канала)
- наличии остеофитов, хондромных тел в суставах
- заболеваниях сосудов верхних и нижних конечностей, сосудов шейного отдела
- заболеваниях внутренних органов

Эхографическая картина абсцесса левой миндалины у пациента 14 лет.



На снимке представлены взаимоперпендикулярные сечения образования левой миндалины, которое характеризуется нечеткими контурами и гипоэхогенным внутренним содержимым с "плавающими" эхогенными включениями. За образованием слабое акустическое усиление.

Эхографическая картина кисты правой подчелюстной слюнной железы у пациента 13 лет

На левой половине снимка представлен участок неизменной ткани правой подчелюстной железы (1), анэхогенное образование (2) с четкими контурами и эффектом дистального псевдоусиления. На правой половине снимка - неизменная левая подчелюстная слюнная железа (3).



Инфразвук и его воздействие на человека

Инфразвук – механическая волна с частотой менее 16 Гц

Действие на человека: раздражение, угнетающее настроение, головная боль, усталость.

Положение тела	Частоты собственных колебаний для человека (Гц)
Лежа	3 – 4
Грудная клетка	5 – 8
Брюшная полость	3 – 4

Заключение:

В лекции рассмотрены:

- **понятие механической волны и звука как примера такой волны;**
- **Звук как физическая реальность и психофизическое явление**
- **Звуковые методы исследования в клинике**
- **Ультразвуковые колебания. Воздействия ультразвука на биологические ткани и применение УЗ методов в медицине.**

Тест-контроль

Человек может слышать механические волны с частотой:

1. 0,5 Гц
2. 5000 Гц
3. 25000 Гц
4. 30000 Гц.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

- ❑ Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012..-

Дополнительная:

- ❑ Федорова В.Н., Е. В. Фаустов. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.:ГЭОТАР-Медиа,2010 .-
- ❑ Антонов В.Ф., А. М. Черныш, Е. К. Козлова [и др.] Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие.-М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.-
- ❑ Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М. : Дрофа, 2010.
- ❑ Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
- ❑ Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
- ❑ Физика. Физические методы исследования в биологии и медицине: метод. указания к внеаудит. работе студентов по спец. – педиатрия / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМУ, 2009.-

Электронные ресурсы:

- ❑ ЭБС КрасГМУ
- ❑ Ресурсы интернет
- ❑ Электронная медицинская библиотека. Т.4. Физика и биофизика.- М.: Русский врач, 2004.



Красноярский
Государственный
Медицинский
Университет
им. проф.
В.Ф.Войно-Ясенецкого



**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**