



Лекция 3

# Биомеханика Акустика



Ростов-на-Дону  
**2012**

# **Содержание лекции №3**

- **Введение**
- **Механические волны**
- **Эффект Доплера**
- **Звук**
- **Ультразвук**

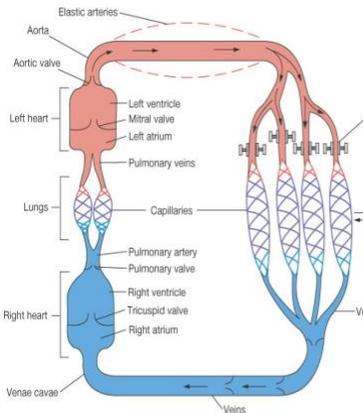
# Организм = физика + механика + химия

**Физические процессы в организме**

→ Дыхание

→ Теплообмен

→ Кровообращение

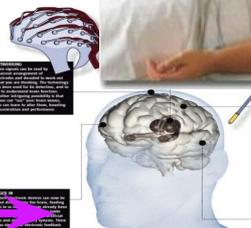


**Физические методы диагностики**

→ ЭКГ



→ ЭЭГ



→ УЗ



**Физические свойства материалов**

→ Электроды

→ Клапаны

→ Протезы

**Электрокардиостимулятор**



**Воздействие физических факторов на организм**



**Гамма-терапия**

**УВЧ -терапия**



# Средства обучение



**Манекены** – простые изделия, которые не могут имитировать сложные физиологические реакции



**Симулятор** - компьютер симулирует на экране изображение, полностью имитируя процессы происходящие в организме человека в ответ на действия врача



**Фантом** — модель человека или отдельные органы в натуральную величину, служащая наглядным пособием



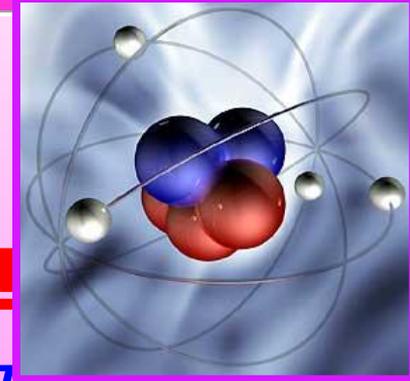
Робот-хирург да Винчи

## Средства обучения



[www.siver-info.com](http://www.siver-info.com)

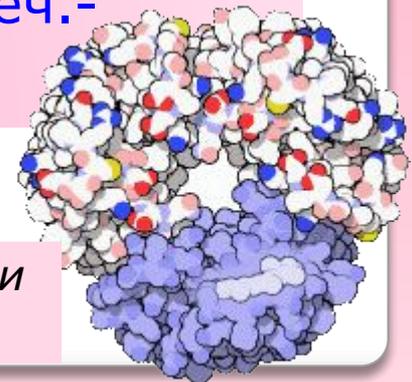
**Физика** - это наука,  
Изучающая простейшие и  
наиболее общие **количественные!**  
закономерности явлений *природы*,  
свойства и строение материи и законы  
ее естествознания.



**Биофизика** – один из  
самых *интересных*  
разделов физики. ( от др.  
греч. **жизнь**, др. греч. -  
**природа** )



Белок бактерии  
родопсин



**Биофизика** - это физика живых систем на различных уровнях организации: молекулярном, мембранном, клеточном, органном, популяционном

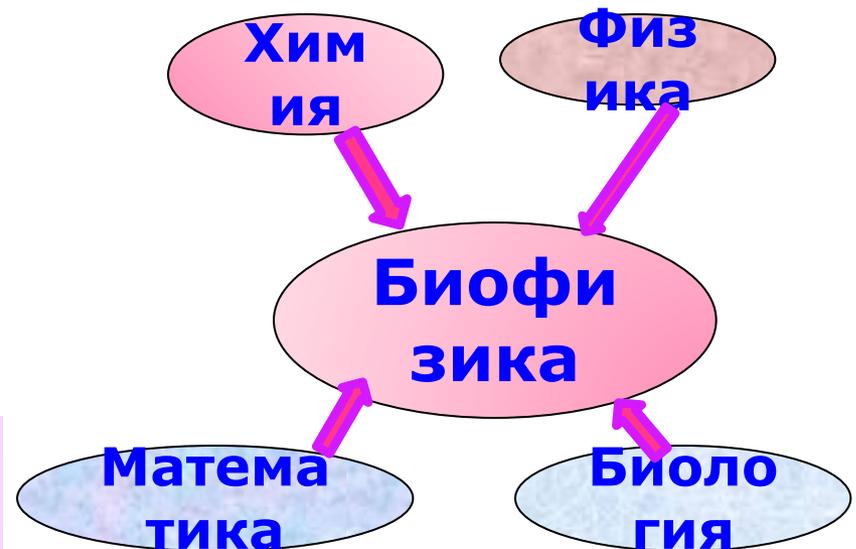
**Задача биофизики:**

Исследование **биологических** процессов со стороны **физики** и изучение **физических** процессов в **биологических** явлениях

**Биофизика**- это наука, возникшая на базе взаимодействия:

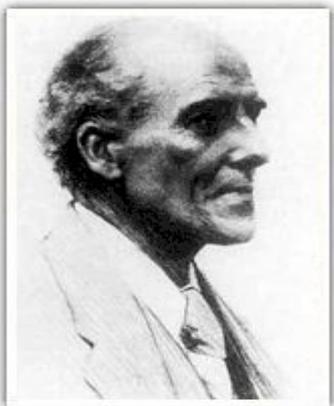
Особенности  
курса б/ф

- Нет четкого определения биофизики,
- **Нет дня рождения**
- Предмет и задачи по-разному



## Классификация общего курса биофизики:

- **Теоретическая** биофизика;
- Биофизика **сложных систем**;
- **ТД** биологических процессов – *преобразование энергии в живых структурах*;
- **Молекулярная** биофизика;
- Биофизика **клеточных процессов**;
- Биофизика **мембранных процессов**: *свойства БМ*;
- Биофизика **фотобиологических процессов**- *воздействие внешних источников света на живые системы*;
- **Радиационная** биофизика – *влияние ИИ на организм*;
- **Математическая** биофизика;
- **Прикладная** биофизика;
- **Биоинформатика**;
- **Биометрия**;
- **Биомеханика**;
- Биофизика **индивидуального развития**;
- **Медицинская** биофизика;
- **Экологическая** биофизика

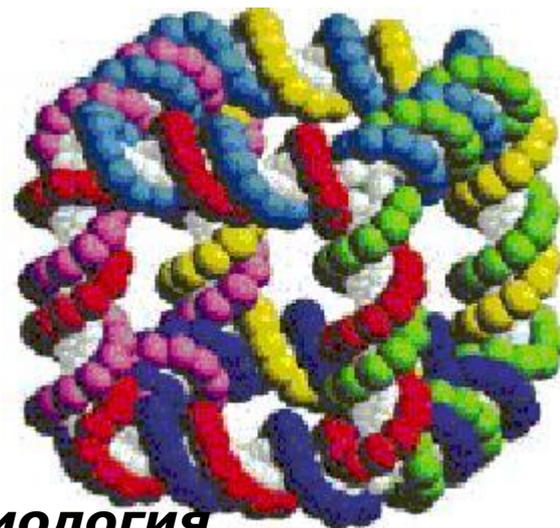


# КОГДА РОДИЛАСЬ БИОФИЗИКА?

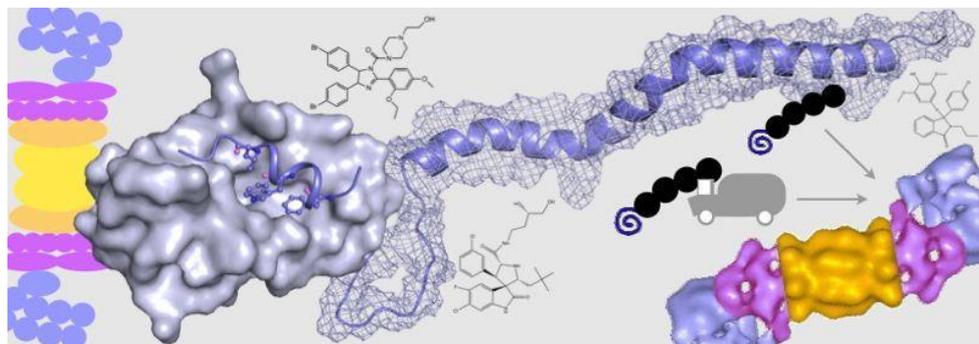
**1893 Г** – появился термин.

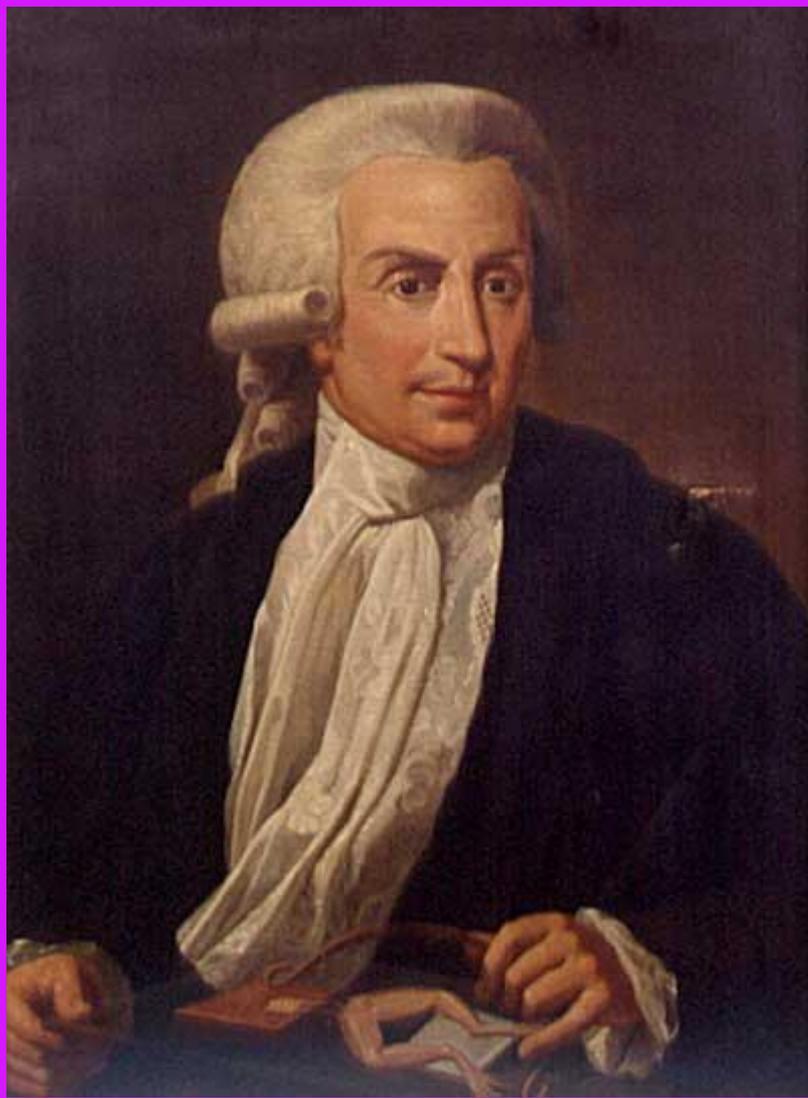
**Пирсон Карл**- выдающийся английский математик, основатель современной статистики  
1857-1936

Уже на начальных этапах своего развития биофизика была тесно связана с идеями и методами физики, химии и математики.

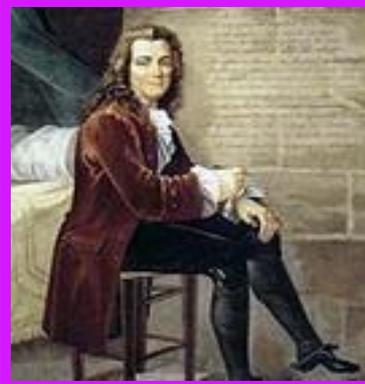


*Нанобиология*

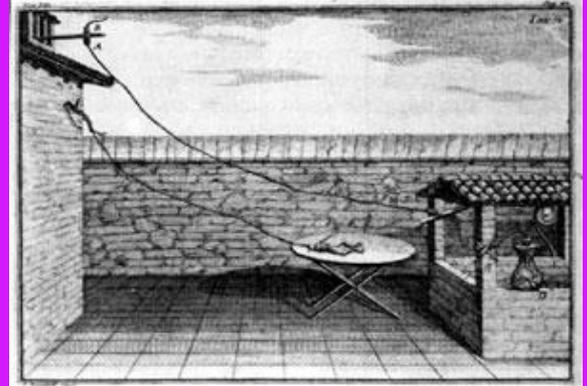




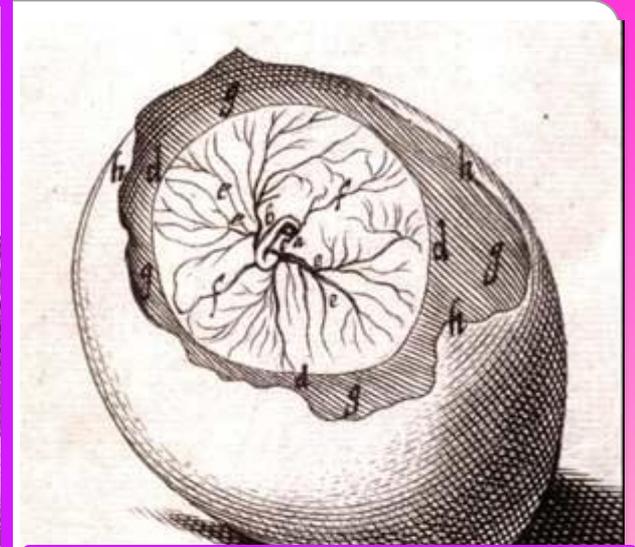
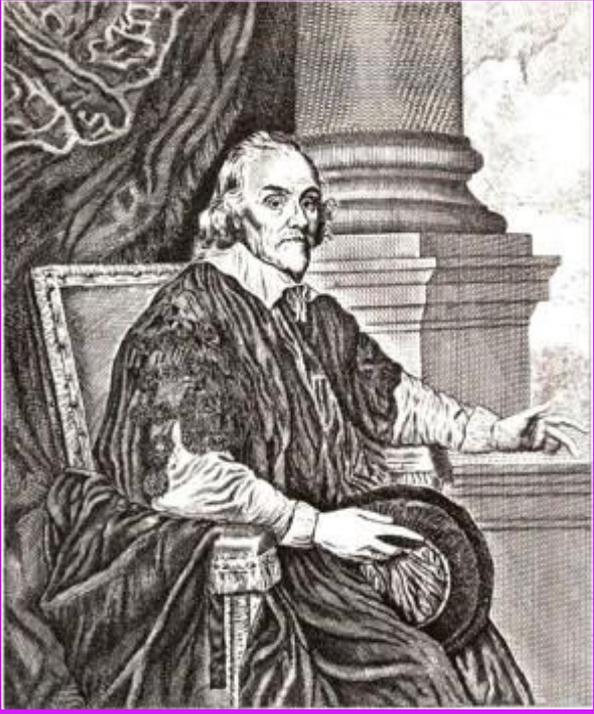
**1791 г** ЛУИДЖИ  
ГАЛЬВАНИ открыл  
биоэлектричество.



**А. Вольта 1799**



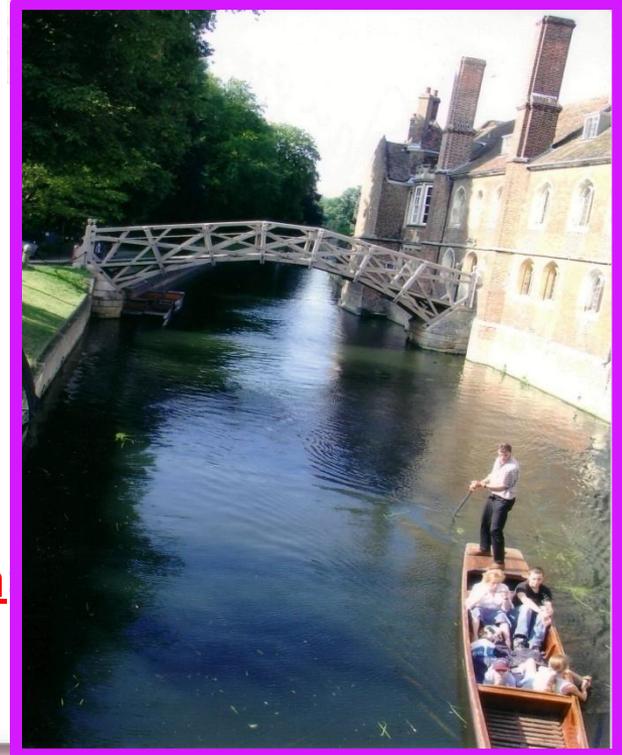
За **2000 лет до**  
изобретения  
батарейки.  
Багдад, раскопки



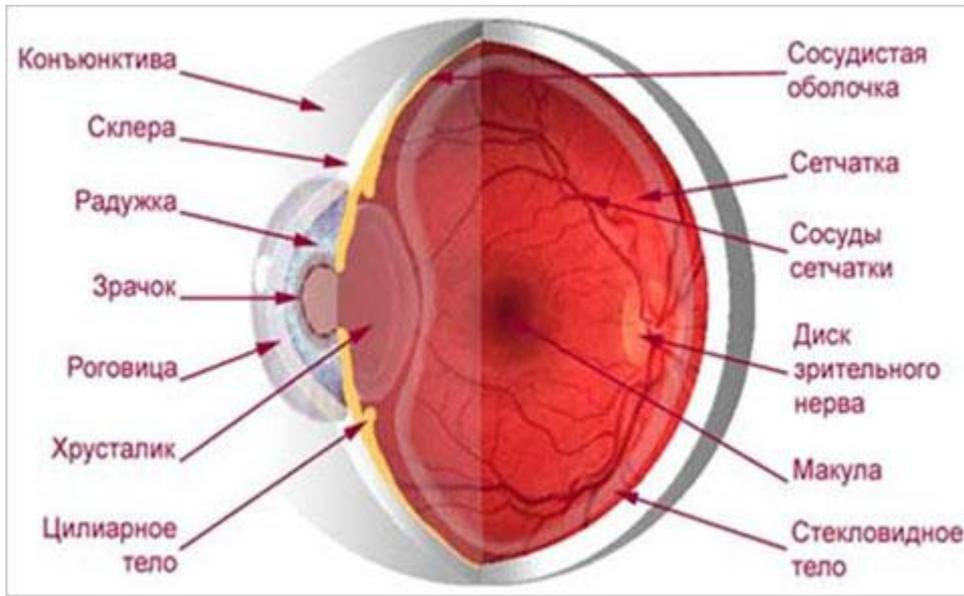
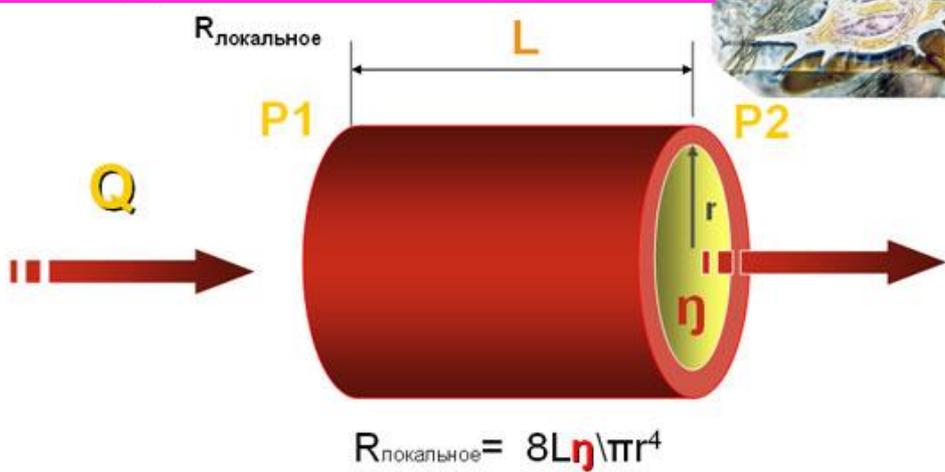
**ГАРВЕЙ**, УИЛЬЯМ (Harvey, William, **1578-1657**), английский врач, анатом, физиолог и эмбриолог.

В мае 1593 г. Уильям Гарвей был принят в колледж **Кембриджского** университета.

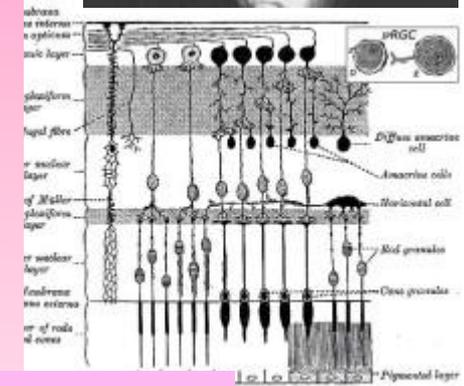
Первые три года учебы **Гарвей** посвятил изучению «дисциплин, полезных для врача - классических языков (латыни и греческого), риторики, философии и математики».



**Пуазейль – врач, физик  
и физиолог – механика  
кровообращения**



**Томас Юнг**  
разработал  
теорию  
**цветного**  
зрения.  
Основполо  
жник  
**волновой**  
теории



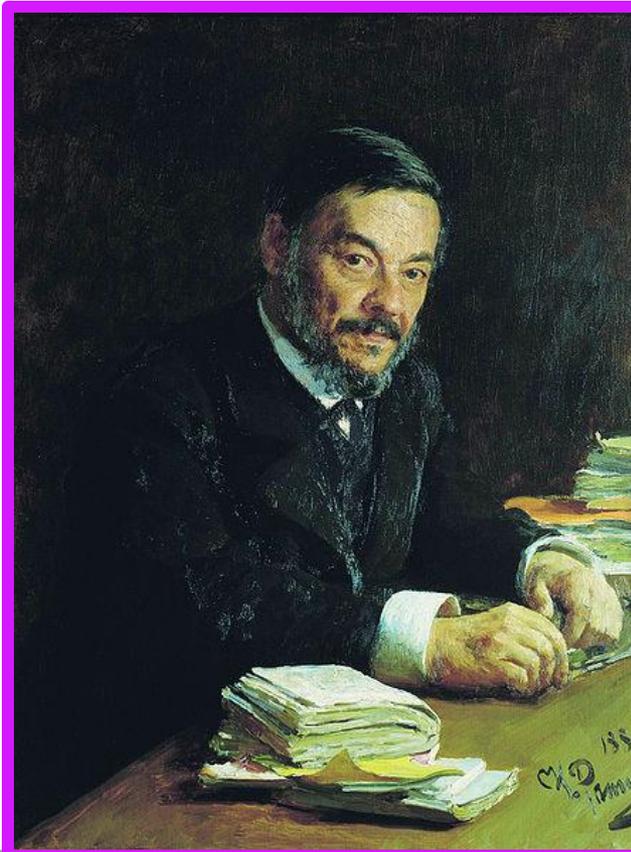
**Декарт** описал  
оптическую **систему**  
**глаза**

Нем., **физиолог, физик** и  
психолог **Гельмгольц** –  
теория функционирования  
глаза



**Роберт Майер**  
1814-1878  
Нем. Врач и  
естествоиспытатель

Изучал медицину в Мюнхене и Париже. Научная сфера – физика. В 1840 году в качестве судебного врача совершил путешествие на остров Яву. **Обосновал I закон ТД.**



**Сеченов И.М.**  
1829-1905  
**Выдающийся  
русский  
физиолог.**  
«Рефлексы  
головного  
мозга».  
Закон  
растворимости  
газов в крови.

# Лазарев П.П. – один из основоположников биофизики в России



**Физик**, биофизик,  
геофизик, **медик**

1901 г. окончил медицинский факультет Московского университета.

С 1903 г – доктор медицины.  
И в 1903 г. закончил физико-математический факультет.

В **1927** г. создал государственный институт биофизики в Москве.

*Вопрос:  
Как долго  
институт  
просуществовал?*

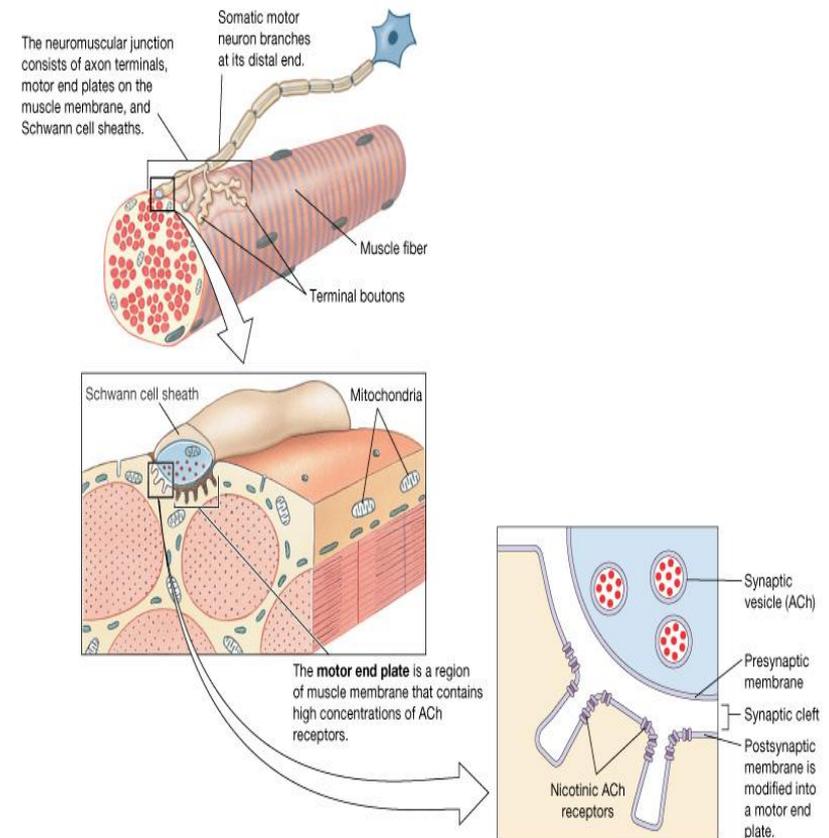
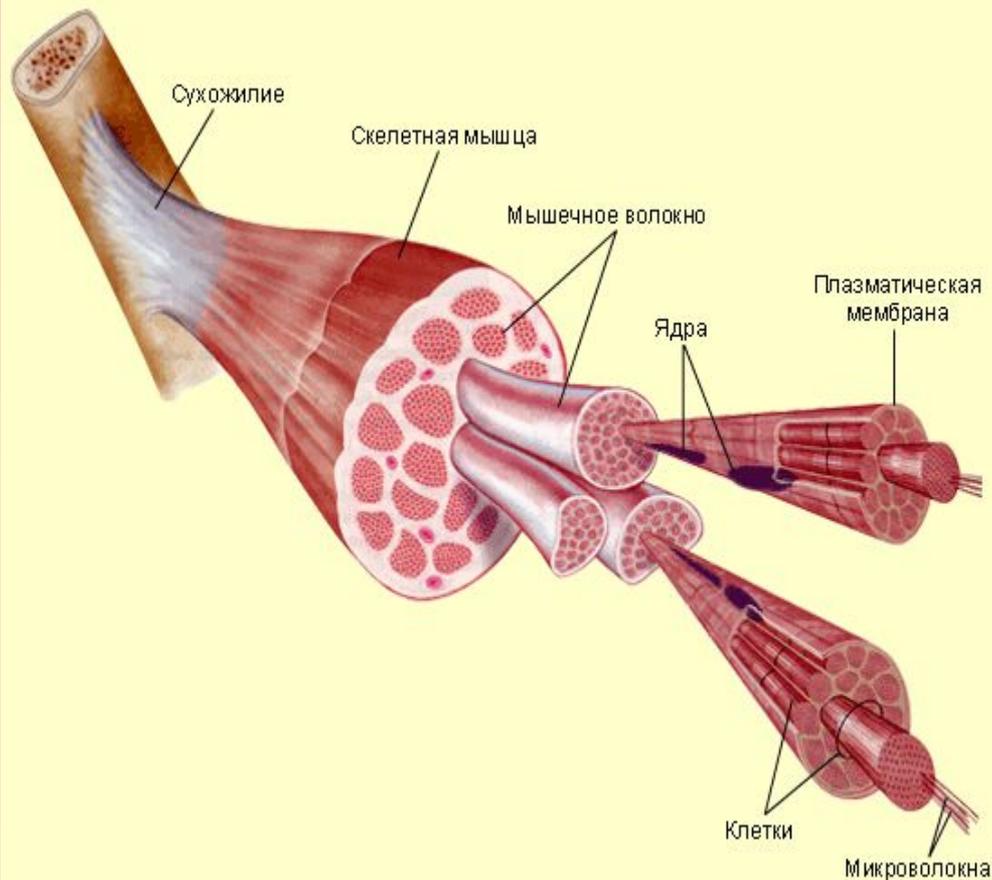
Создал ионную теорию возбуждения

Разработал теорию **адаптации** (все органы и ЦНС)

Вывел единый закон раздражения

Исследование магнитной аномалии

**Биомеханика**- это раздел биофизики, посвященный изучению **механических** свойств живых тканей, а также **механических процессов** в организме.



# Механические волны

## Уравнение плоской волны

**Механическая волна**-это распространение механических колебаний в упругой среде

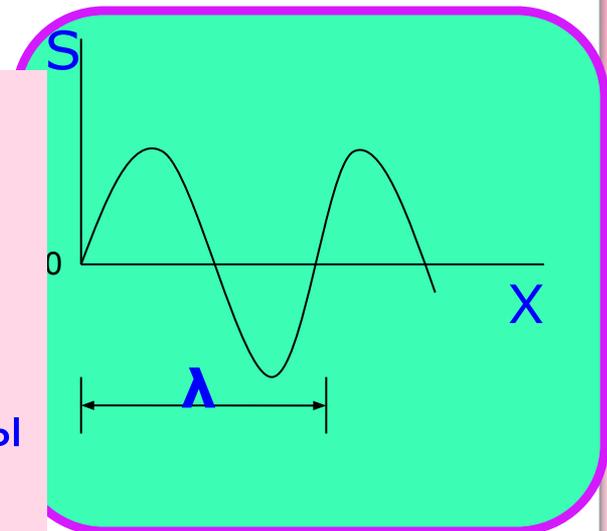
Уравнение волны описывает зависимость смещения  $S$  частиц среды от координаты  $X$  и времени  $t$

$$S = f(x, t)$$

$$S = A \cos\left(\omega\left(t - \frac{X}{V}\right)\right)$$

**Уравнение плоской волны**

$A$ - амплитуда  
 $\omega$  - циклическая частота  
 $t$ - время  
 $X$ -координата  
 $V$ - скорость волны  
 $S$ - смещение

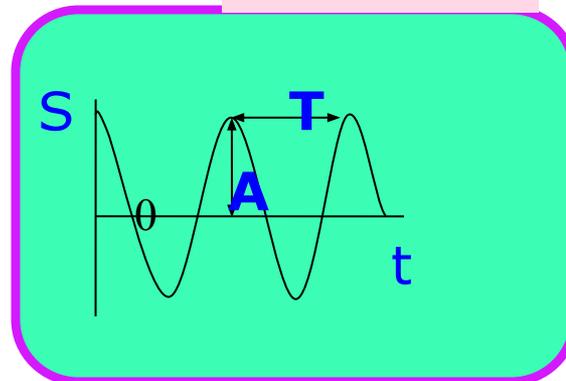


# Параметры колебаний и ВОЛН

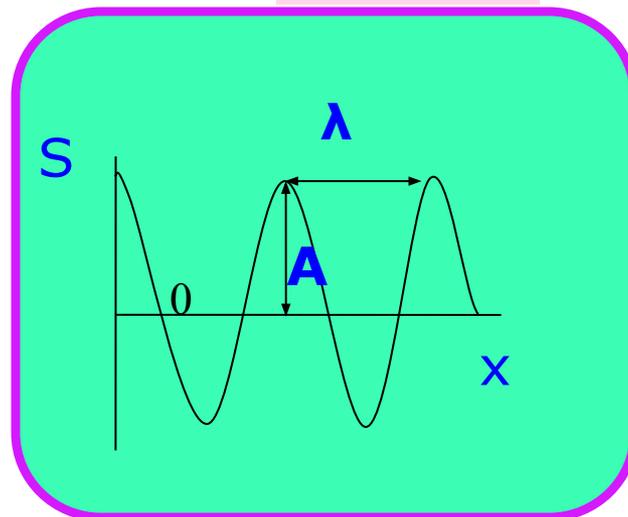
1. Амплитуда **A**, м
2. Период **T**, с. Это время одного полного колебания.
3. Частота  $\nu$ , Гц Это число колебаний за единицу времени.
4. **Длина волны  $\lambda$**  м. Это путь, пройденный волной за период.  
*Иначе:* Это расстояние между двумя точками, колеблющимися в одинаковых фазах.
5. **Скорость волны  $v$**  м/с
6. Фаза, рад

Циклическая частота  $\omega = 2\pi\nu$

Колебание



Волна



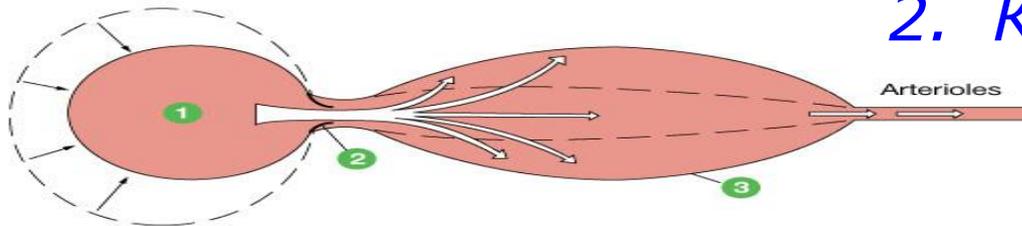
# Бегущая волна переносит **энергию**.

Условие существования волны:

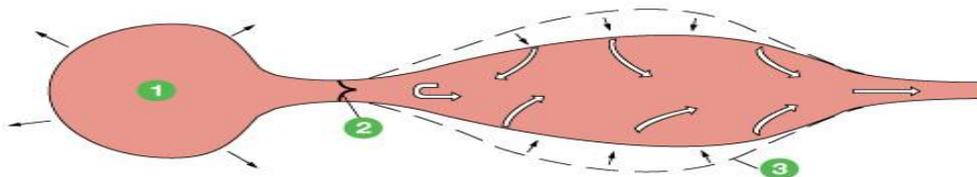
- 1. Упругая среда**
- 2. Инерция**

**Пример:** Волна давления в артериях.

(a) Ventricular contraction



(b) Ventricular relaxation



- 1. Упругость стенок*
- 2. Кровь*

# Энергетические характеристики

1. Энергия  $W$  , Дж

2. Поток энергии  
(устар. мощность)

-это физическая величина, равная отношению энергии, переносимой волной, ко времени.

$$\Phi = \frac{W}{t}$$

$$\Phi = \frac{dW}{dt}$$

, Вт

### 3. Плотность потока энергии = = интенсивность волны

$$I = \frac{\Phi}{S}$$

$$I = \frac{W}{t \cdot S}$$

$$I = \frac{dW}{dt \cdot S} \left[ \frac{Вт}{м^2} \right]$$

-это физическая величина, равная потоку энергии волны через единицу площади, перпендикулярной к направлению распространения волны.

### 4. Объемная плотность энергии волны

$$w_p = \frac{W}{V} \left[ \frac{Дж}{м^3} \right]$$

это энергия в единице объема

$$w_p = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2$$

Или:

-это средняя энергия колебательного движения, приходящегося на единицу объема среды

# Вектор Умова

**Вектор Умова** – это вектор плотности потока энергии волны, направленный в **сторону переноса** энергии волной.

Он равен

$$\vec{I} = \vec{w} \rho \vec{v}$$

$$I = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 v$$

$$I \sim A^2$$



Умов Н. А. (1846-1915)

# Эффект Доплера и его применение в медицине



Жил в Зальцбурге. Директор первого в мире физического института.



Доплер Христиан (1803-1853) - австрийский физик, математик, астроном.

Эффект Доплера заключается в **изменении** частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем, вследствие **движения** источника волн и наблюдателя относительно друг друга.

$$v_{\text{набл}} = \frac{v_{\text{зв}} + v_{\text{набл}}}{v_{\text{зв}} - v_{\text{ист}}} \cdot v_{\text{ист}}$$

Если **приближается** (объект, наблюдатель),  
то скорость берется со знаком «+»

Если **удаляется**, то **скорость** берется  
**со знаком «-»**

Классический **пример** этого  
феномена: Звук свистка от  
движущегося поезда.



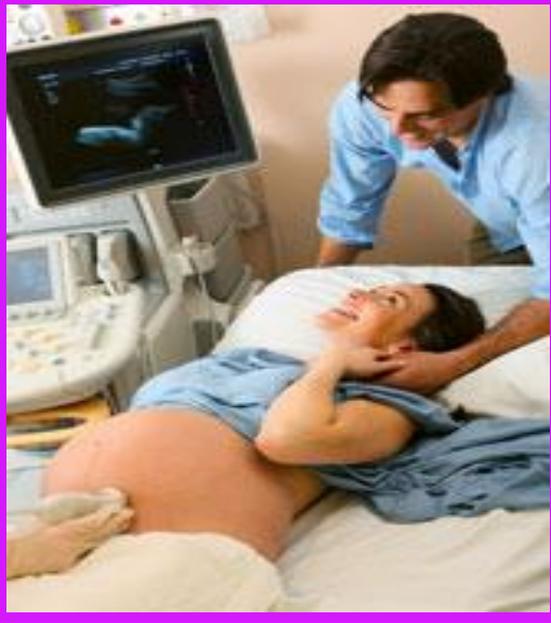
**Эффект Доплера** используется для определения скорости движения тела в среде, скорости кровотока, скорости движения клапанов и стенок сердца = доплеровская эхокардиография.

Когда звук **отражается** от движущегося объекта, частота отраженного сигнала **изменяется**. Происходит **сдвиг частоты**.

При наложении первичных и отраженных сигналов возникают **биения**, которые прослушиваются с помощью наушников или громкоговорителя.

$$\Delta \nu \uparrow = \frac{2v_0 \uparrow}{v_{уз}} \nu_{ген}$$

Доплеровский **сдвиг**- это разность между отраженной и переданной частотами  $\Delta \nu$ .

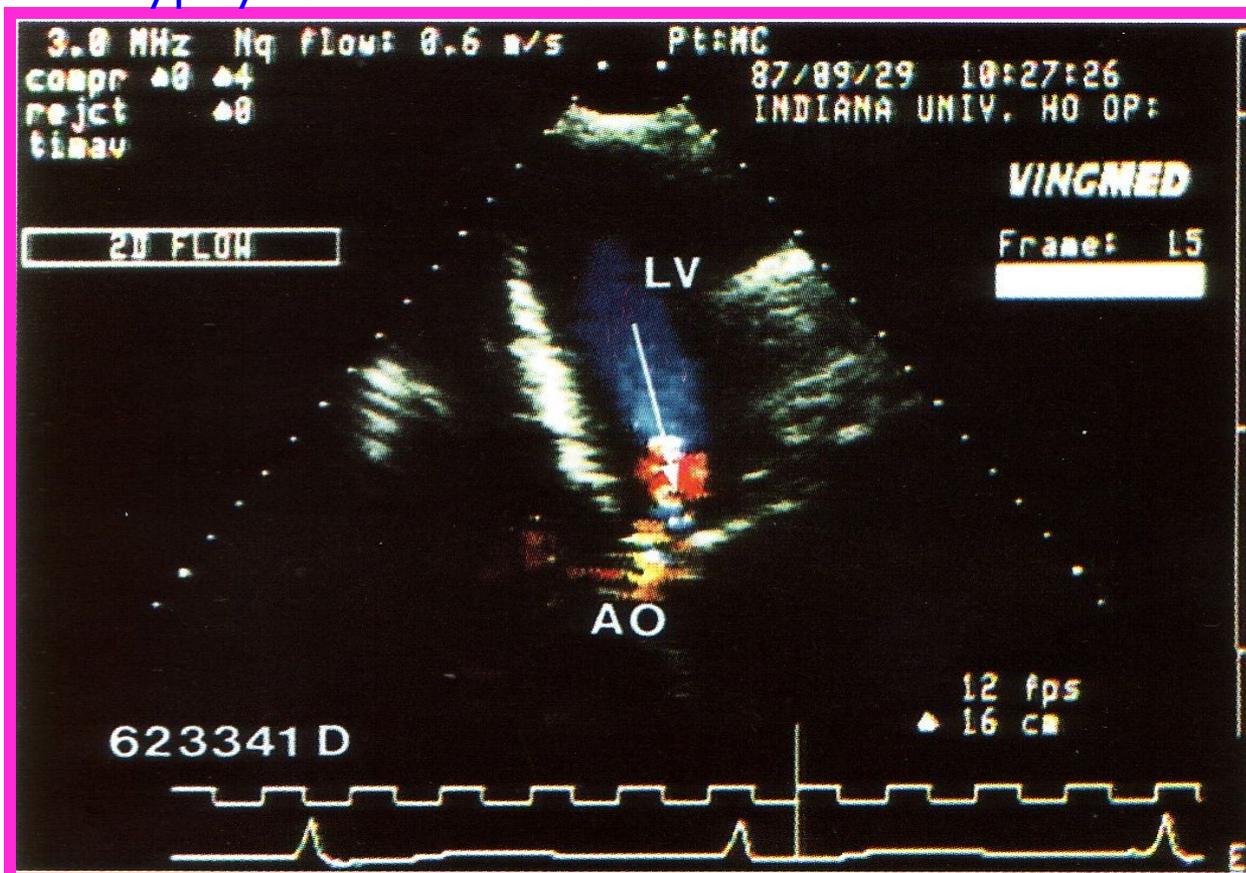


## Допплерометрия

**Благодаря аппарату Доплера гинеколог, ведущий беременность, делает вывод о том, есть ли угроза для развития ребенка, насколько хорошо его состояние, сильное сердце, нормальный ли кровоток к сердцу и каково состояние кровообращения в организме малыша, все ли хорошо с пуповиной у мамы в системе мать-плод-плацента, нет ли у младенца пороков сердца, анемии или гипоксии.**



**Двухмерное цветное доплеровское картирование** при нарушении оттока из левого желудочка. Относительно низкая скорость выходного потока левого желудочка кодируется **синим** цветом. В области **сужения** скорость возрастает, возникает наложение спектров (aliasing), и кодировка сигнала потока меняется на **красную**. На участке обструкции регистрируется относительно узкий турбулентный поток.



LV – левый  
желудочек

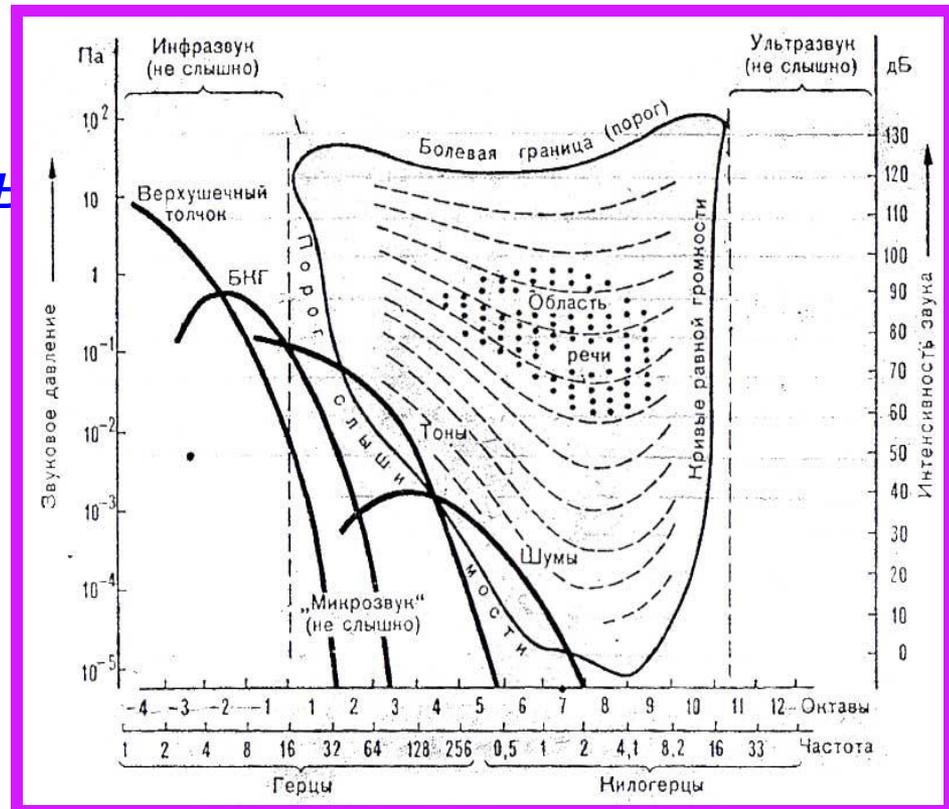
AO – аорта

# Звук

Звук – это механическая волна в упругой среде, воспринимаемая ухом человека. 16 Гц – 20 кГц

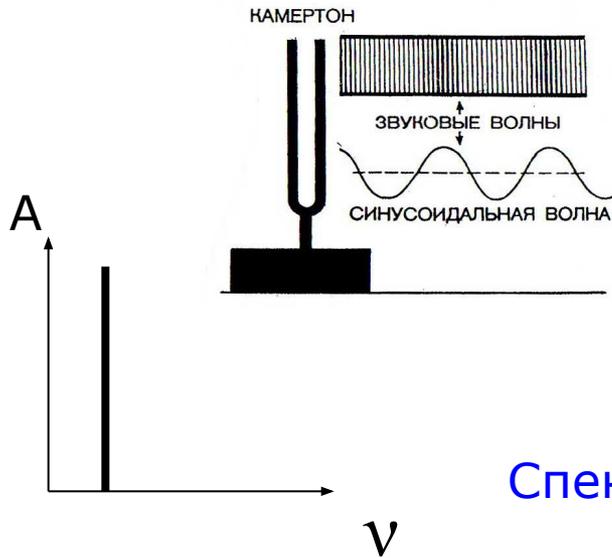
Упругая среда – это среда между частицами которой существуют силы упругости, препятствующие ее деформации

- Инфразвук до 16 Гц
- Слышимый звук  
16 Гц-20 кГц
- Ультразвук
- 20 кГц – 1 ГГц

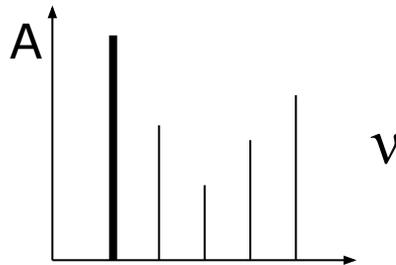


# Виды звуков. Спектр звука

**Чистый тон**

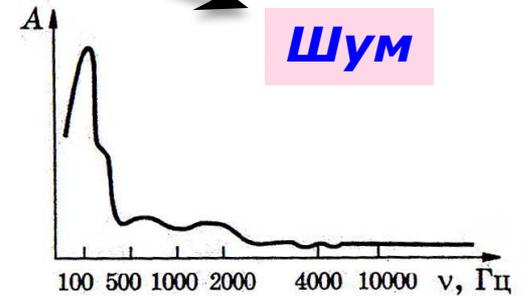


**Сложный тон**



Спектр **линейчатый**

**Шум**



Спектр **сплошной**

**Спектр** – это график зависимости амплитуды от частоты

# Волновое сопротивление

$$Z = \rho \cdot c \quad \left[ \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right]$$

Волновое сопротивление – это произведение плотности среды на скорость звука в этой среде.

**Z – акустический импеданс = волновое сопротивление** характеризует свойство среды **проводить акустическую энергию**

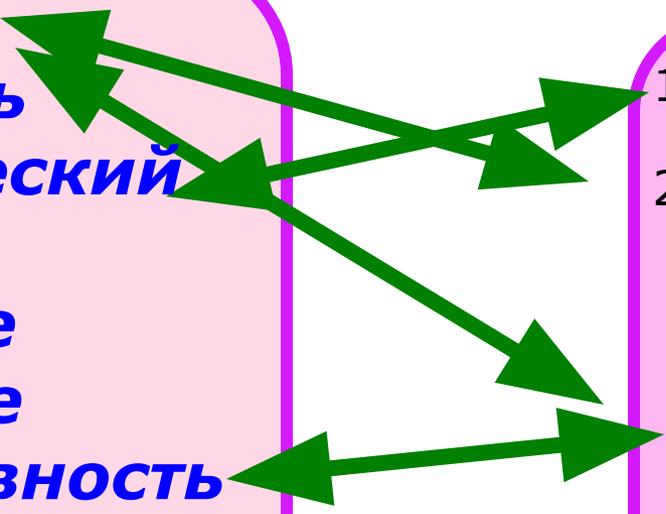
# Характеристики звука

Физические =  
≡ **объективные**

слухового ощущения =  
≡ **субъективные**

1. Частота
2. Скорость
3. Акустический спектр
4. Звуковое давление
5. Интенсивность
6. Уровень интенсивности

1. Тембр
2. Высота
3. Громкость



## Объективные (физические) характеристики звука

1. Частота - число колебаний в единицу времени

$$\nu = 16 - 20000 \text{ Гц}$$

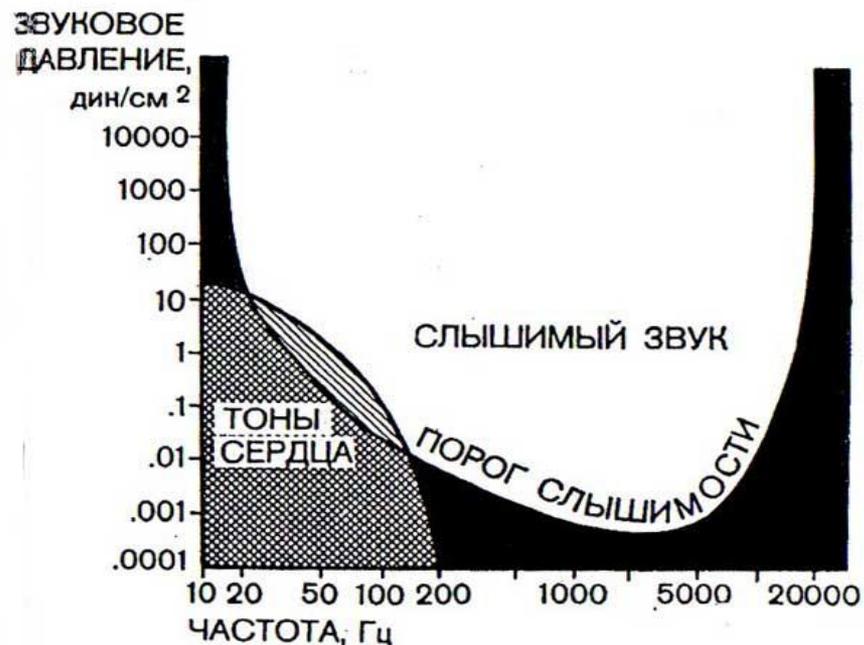
2. Скорость звука

В воздухе 331,5 м/с  
340 м/с (20°C)

Вода 1500 м/с

Кровь 1540 м/с

Кость  $\approx$  4000 м/с



Слышимость на разных частотах

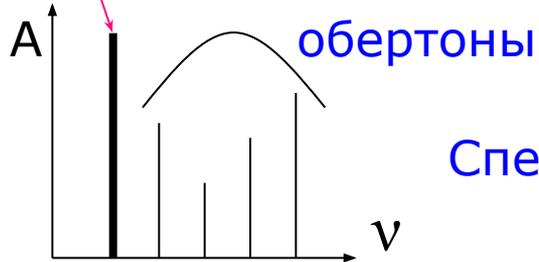
## Скорость звука в различных средах и акустические сопротивления сред

Среда	Скорость звука, м/с	Плотность относительно воды, $\rho_c / \rho_v$	Акустическое сопротивление относительно воды, $Z_c / Z_v$
Воздух (при нормальных условиях)	343	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$
Дистиллированная вода	1482	1,0	1,0
Легкие	400-1200	-	0,86-0,96
Жировая ткань	1350-1470	0,95	1,06-1,09
Кровь	1540-1600	1,03	1,04-1,08
Мышечная ткань	1560-1620	1,06	1,11-1,14
Мягкие ткани	1540	1,07	1,13
Костная ткань	2500-4300	1,07	1,11

# 3. Акустический спектр

**ОСНОВНОЙ  
ТОН A – max**

**$\nu$  - min**



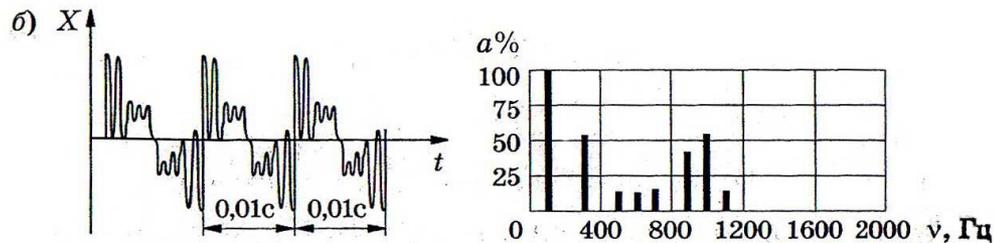
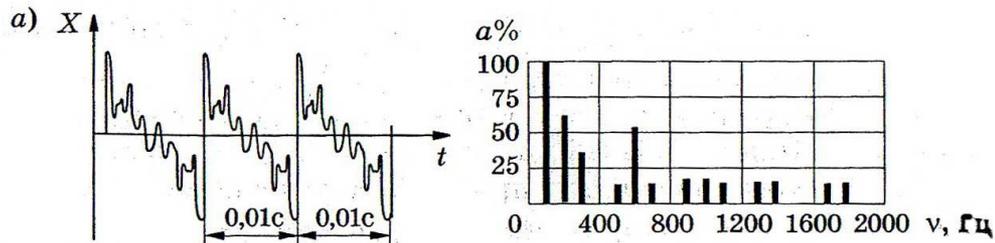
Сложный тон

Спектр линейчатый

Рояль



**Одна и та же нота**



Кларнет



## 4. Звуковое давление

$$P = \rho v c$$

$\rho$  - плотность среды

$v$  – скорость колебательного движения частиц среды

$c$  – скорость звука

## 5. Интенсивность звука

$$I = \frac{\Phi}{S}$$

$$\left[ \frac{Вт}{м^2} \right]$$

$$I = \frac{W}{t \cdot S}$$

$$I = \frac{p^2}{2\rho c}$$

**Порог слышимости на 1 кГц**

$$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$$

## 6. Уровень интенсивности

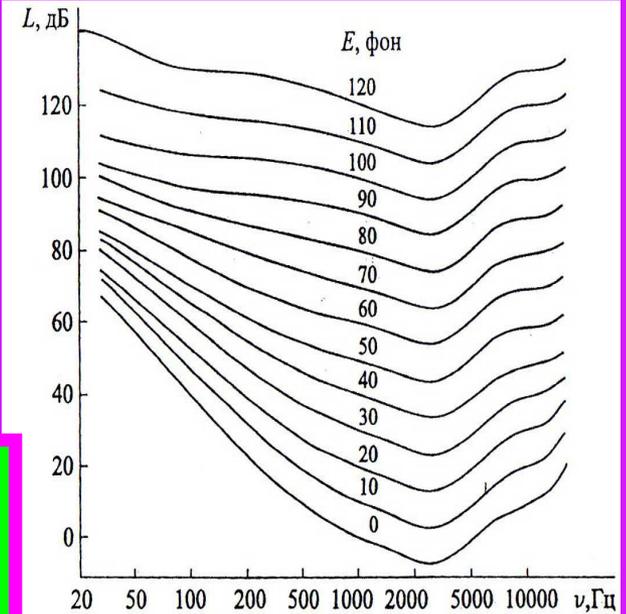
Для сравнения интенсивностей звуков используют логарифмическую шкалу.

$$L = \lg \frac{I}{I_0} [Б]$$

бел

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} [дБ]$$

децибел



Порог слышимости  
0 дБ

**1 Б-** это уровень интенсивности, при котором интенсивности сравниваемых волн отличаются **в 10 раз**

## Субъективные характеристики, их связь с объективными

**1** Высота звука –это качество звука, определяемое человеком субъективно, на слух, и зависящее от частоты.

с увеличением ↑ частоты      высота ↑

**2** Тембр определяется спектральным составом звука.

3. **Громкость** звука – это уровень слухового ощущения, вызываемого этим звуком.

Громкость зависит от **интенсивности, частоты** и формы колебаний.

Если надо выразить **различие** в **восприятии** человеком звуков разной интенсивности, то используют **уровень громкости E**

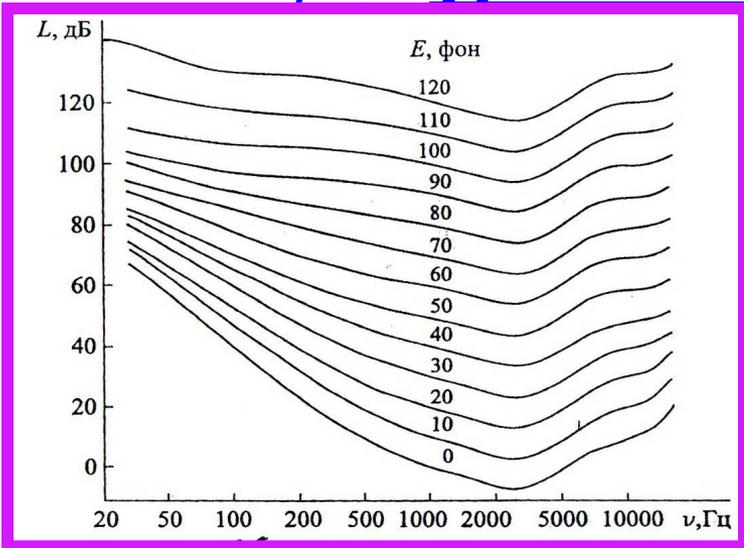
[фон]

**ВОПРОС:**

**Как связаны фон и децибел?**

**На  $\nu = 1$  кГц 1 фон = 1дБ**

Звуки **разной** частоты и интенсивности воспринимаются ухом как звуки **одинаково громкие**,! если попадают на эти кривые.



Кривые равной громкости

# Закон Вебера - Фехнера

логарифмический закон,  
отражающий свойство адаптации уха

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

$$E = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$



Эрнст Вебер  
**Физиолог,**  
анатом.  
1795-1878



Густав Фехнер  
немецкий  
**физик и**  
**психолог**  
1801-1887

Фехнер сформулировал основной психофизический закон: **ощущение раздражения пропорционально логарифму силы раздражения.**

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

$$E = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

Если раздражение (**I**) увеличивать в **геометрической** прогрессии (то есть **в** одинаковое число раз), то **ощущение** (**E**) этого раздражения возрастает в **арифметической** прогрессии (то есть **на** одинаковую величину).

$$\begin{array}{ccc} aI_0 & a^2I_0 & a^3I_0 \\ E_0 & 2E_0 & 3E_0 \end{array}$$



## Справка

**Шорох листьев – 10 дБ**



**Шепот за последним  
столом – 30 дБ**



**Шум сливного бачка – 75 дБ**





**Мотоцикл с глушителем – 85 дБ**



**Автомагистраль – 90 дБ**



**Раскаты грома – 100 дБ**



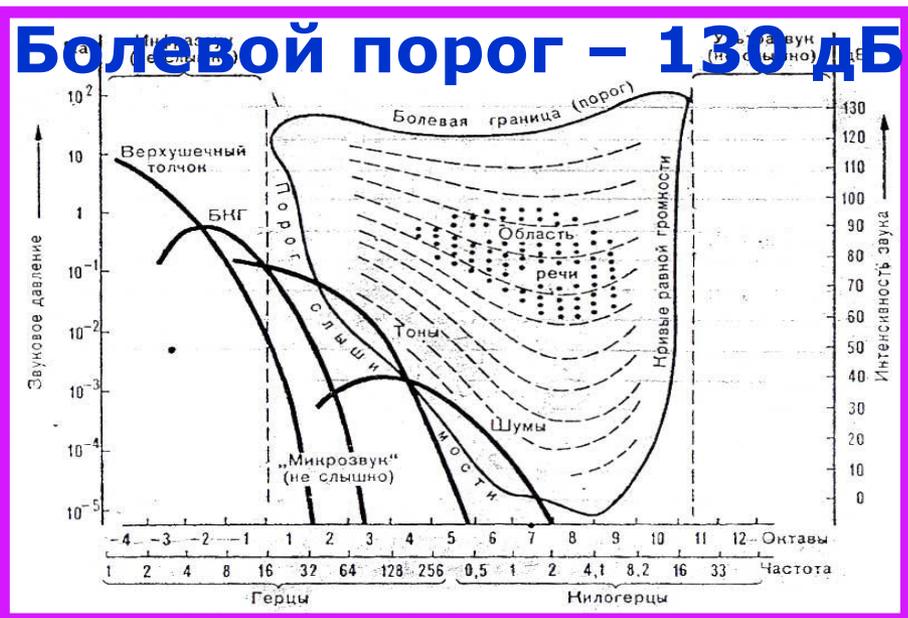
Максимально допустимое звуковое давление для наушников плеера по европейским нормам - **100 дБ**



**Полицейская сирена 110 дБ**



**ВУВУЗЕЛА - 124 дБ**

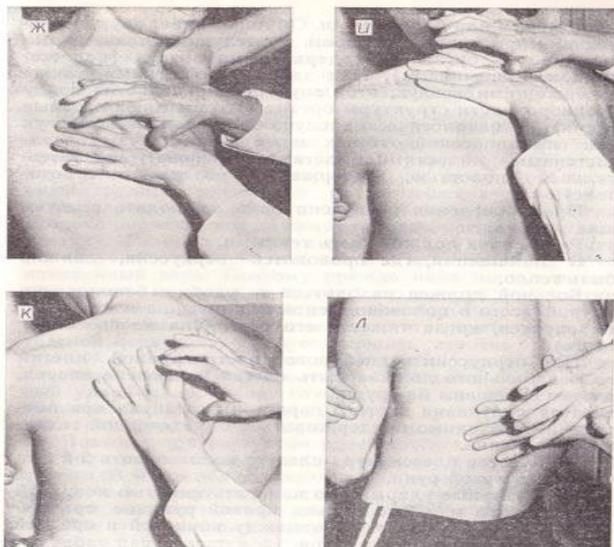


# Физические основы звуковых методов исследования в клинике

## 1. Перкуссия

Лат. Percussio – удар, простукивание

Метод исследования внутренних органов, основанный на **простукивании** по поверхности тела больного с оценкой характера возникающих при этом звуков.



Характер перкуторного звука зависит от количества **воздуха** в органе, от **упругости** тканей.

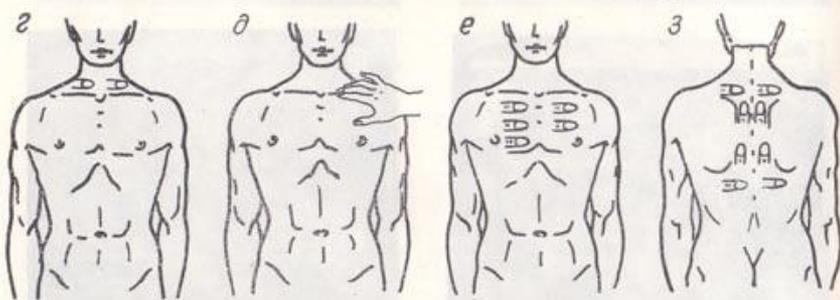
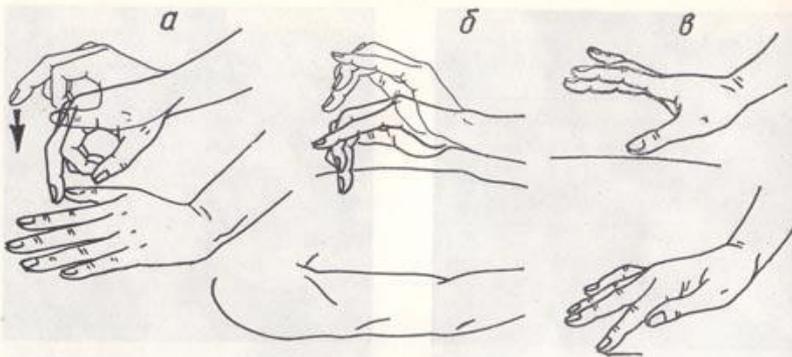


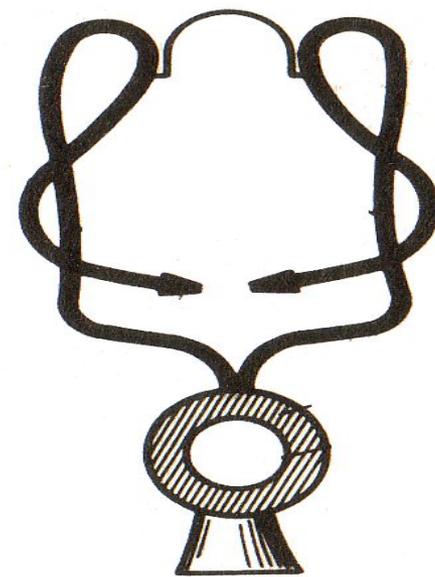
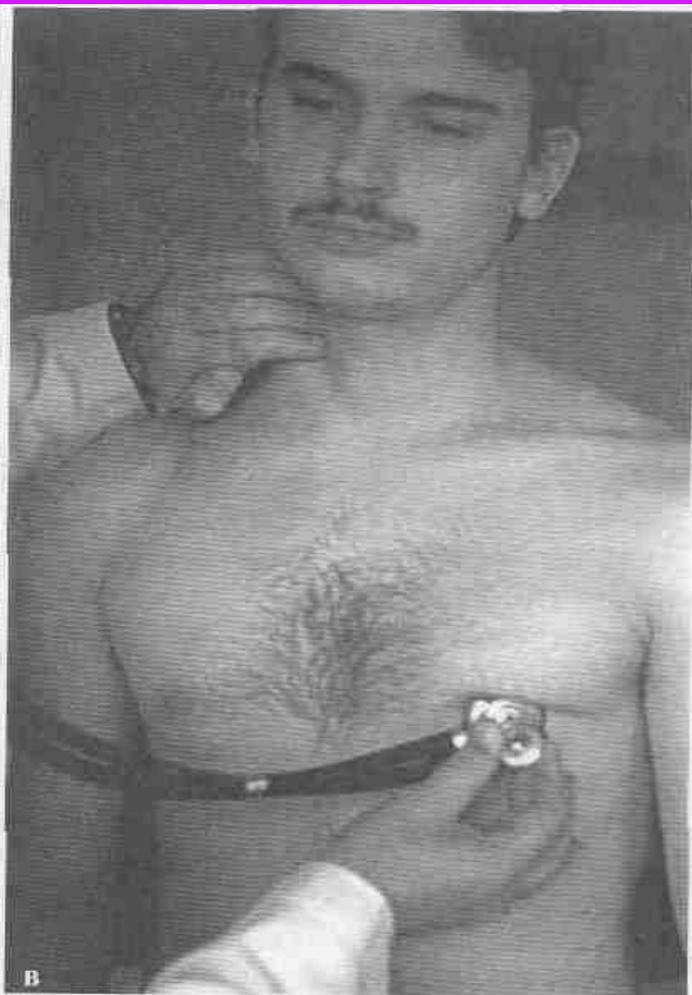
Рис. 29. Сравнительная перкуссия легких:

Изобрел в 1761 г. австрийский терапевт **Аэнбруггер**, по совместительству музыкант. Он был сыном трактирщика и в детстве помогал отцу разливать вино, простукивая бочки, чтобы узнать, насколько они наполнены вином.



**2. Аускультация** – метод исследования внутренних органов, основанный на выслушивании

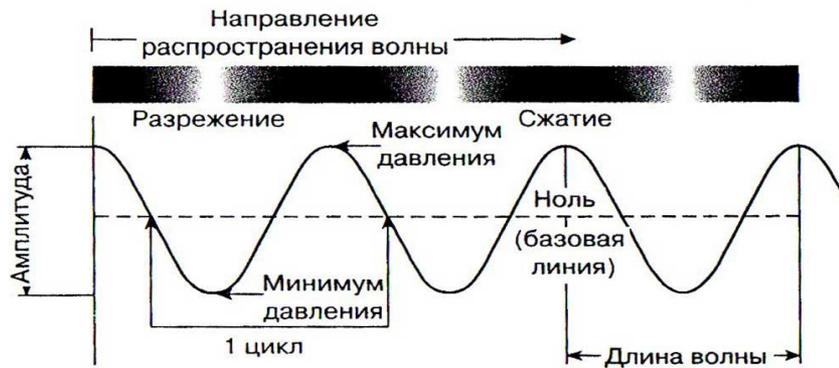
звуковых явлений, возникающих при **физиологической деятельности** внутренних органов.



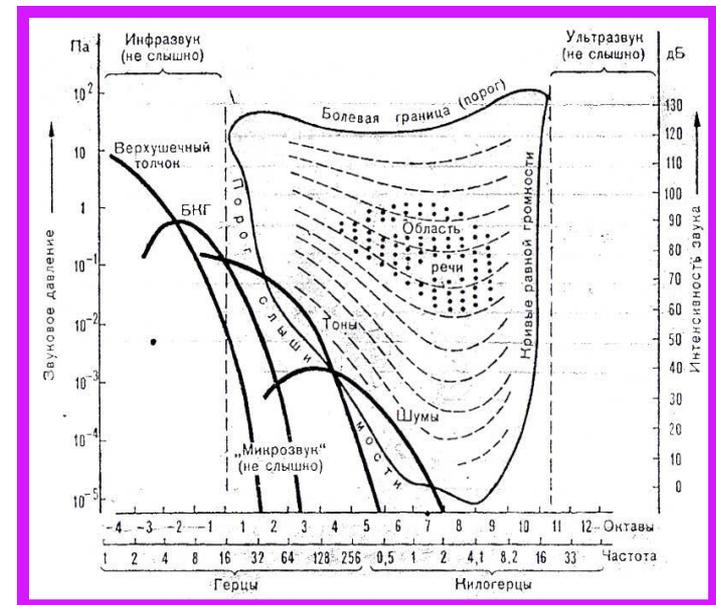
фонендоскоп

# Ультразвук, физические основы применения в медицине

УЗ – это механические продольные колебания и волны, частота которых превышает **20 кГц**.



Ультразвуковая волна – это последовательность сгущений и разрежений



- Ультразвук **20 кГц – 1 ГГц**
- Гиперзвук **> 1 ГГц**

# Источники и приемники ультразвука

## *Источники УЗ:*

### 1. Магнитострикция



$$\nu_{\text{уз}} = 50 \text{ кГц}$$

Стержень **Fe, Ni** в переменном магнитном поле



## 2. Обратный пьезоэффект

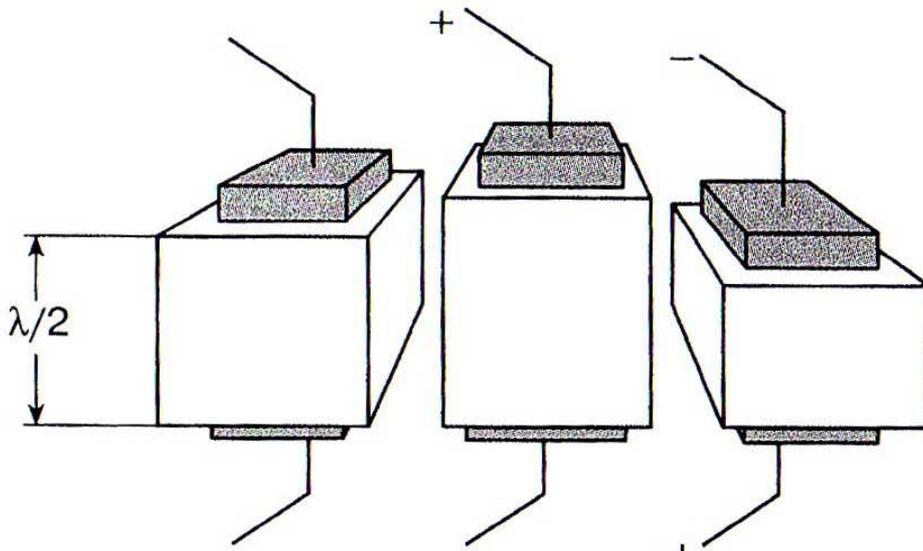
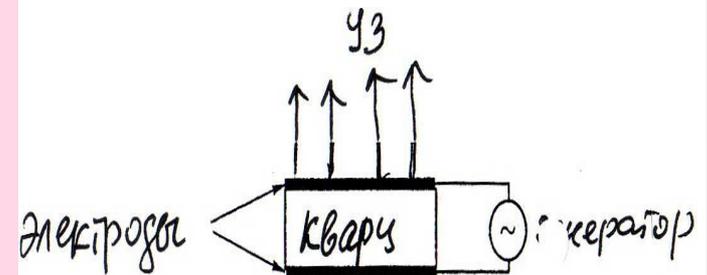


Схема кристалла с пьезоэлектрическими свойствами. Кристалл изменяет форму, когда окружающее электрическое поле меняет направление на противоположное. Длина волны излучаемого ультразвука является функцией размера кристалла.

Заключается в механической деформации тел под действием электрического поля.

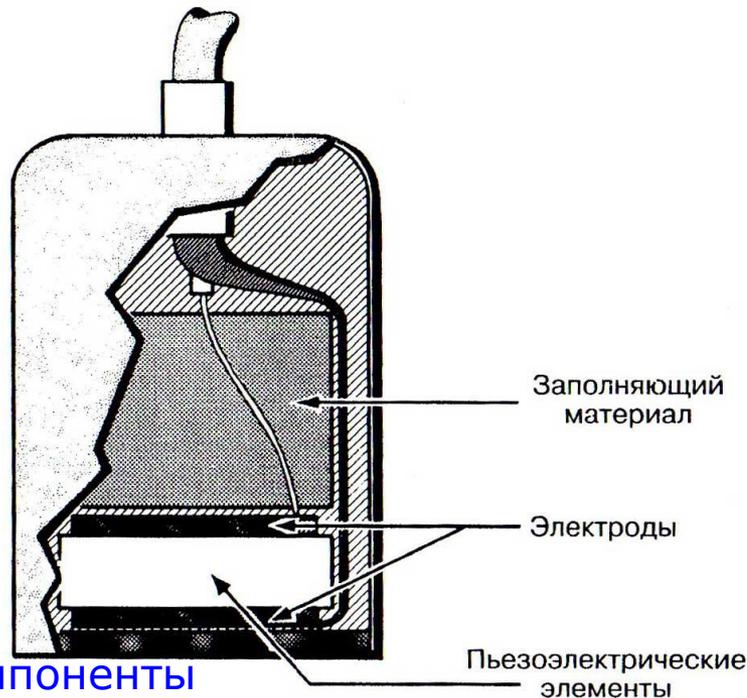
$$\nu_{уз} = 10 \text{ МГц}$$



Толщина кварца **1мм**

Почему обратный?

# Приемники УЗ: прямой пьезоэффект



Основные компоненты  
ультразвукового датчика

Под действием УЗ происходит деформация кварца, которая приводит к генерации переменного электрического поля.

Эл. Импульс ↔ УЗ

# Особенности распространения УЗ волн

Лучевой характер

Легко  
фокусировать

Подчиняется законам  
отражения и  
преломления

Малая  $\lambda$   
 $\lambda_{уз} = 2 \div 0,6$   
мм

Возможность  
получения  
больших  
интенсивностей

Отражается от  
объектов  
небольших размеров

# Действие УЗ на вещество, на клетки и ткани организма

**Действие УЗ:**  
**механическое + тепловое + физико-химическое**

Микромассаж  
клеток и тканей

Перестройка БМ

Разрушение  
биомакромолекул,

Разрушение  
клеток и  
микроорганизмов

Изменение  
Проницаемости БМ

**33% → в тепло →**  
**ткани прогреваются**

*Пример:* При облучении УЗ в течение 10 минут брюшной полости собаки **температура** печени **увеличилась** на  $0,5^{\circ}\text{C}$ , в жировой ткани на  $3^{\circ}\text{C}$ , а в мышечной на  $5^{\circ}\text{C}$ .

**Ионизация и  
диссоциация  
молекул  
вещества**

- образование биологически **активных** молекул
- активность ферментов

**Механическое действие** связано с **деформацией** микроструктуры вещества, вследствие периодического сближения и отдаления микрочастиц вещества.

*Например*, в жидкости УЗ волна вызывает разрыв ее целостности с образованием полостей.

Это **кавитация**. Это **энергетически невыгодное состояние** жидкостей, поэтому полости быстро **закрываются с выделением большого количества энергии**.

# Кавитация – разрыв сплошности жидкости.

( Латин. cavitas - пустота, пузырьки).

Возникновение в жидкости, облучаемой УЗ, пульсирующих и захлопывающихся пузырьков.

Заполнены паром или газом

Пузырьки существуют недолго

Выделяется значительная энергия

Разогревается вещество



**Кавитация** – это один из современных методов избавления от излишних жировых отложений.

Сегодня принцип кавитации применяют в различных областях медицины:  
в стоматологии — для удаления зубного налета и камня  
в нефрологии — для удаления камней в почках  
в аппаратной косметологии – для борьбы с жировыми отложениями.

Для лечения и очистки гнойных ран дезинфекции и эмульгирования растворов создания ингаляционных смесей.



# Применение в медицине

## Диагностика

1. Эхолокационные методы: отражение УЗ

$$I = 50 \text{ мВт/см}^2$$

**Noli nocere!**

$\nu$  от 1 до 30 МГц  
Чаще всего 2,25-5 МГц

1. Метод А    2. Метод М  
3. Метод В

2. Эффект Доплера

## Лечение

уз  
низких  
интенсивностей

Физиотерапия

$$\nu = 880 \text{ кГц}$$
$$I = 1 \text{ Вт/см}^2$$

Глубина проникновения 3-5 см

УЗ-ингаляция  
фонофорез

уз  
высоких  
интенсивностей

УЗ хирургия

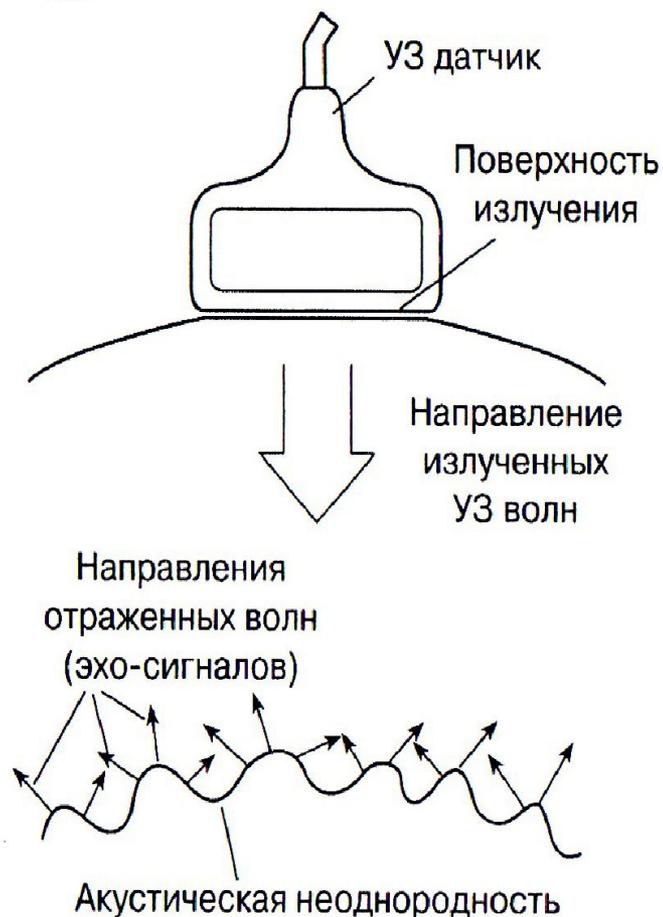
$I = 10^3 \text{ Вт/см}^2$   
Цель: вызвать управляемое избирательное разрушение в тканях.

Два метода:

- Разрушение тканей УЗ  
 $\nu = 4 \text{ МГц}$
- Снижение усилия при резании  $\nu = 50 \text{ кГц}$

**Применение УЗ в диагностике** основано на **отражении** УЗ волн на границе сред с **разными акустическими сопротивлениями**.

**99,9%** времени эхозонд работает как воспринимающее устройство.



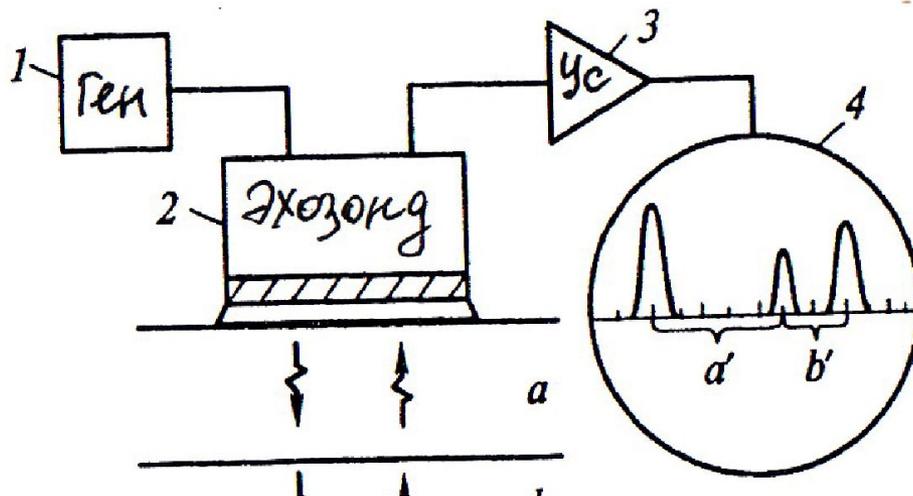
Гель используется  
Для исключения  
воздушной прослойки,  
для **выравнивания**  
**акустических**  
**сопротивлений** !

# Основные режимы работы УЗ-сканирования:

## 1. Режим А Amplitude mode (amplitude - амплитуда)

### А – одномерная эхолокация .

Исследование **неподвижных** объектов

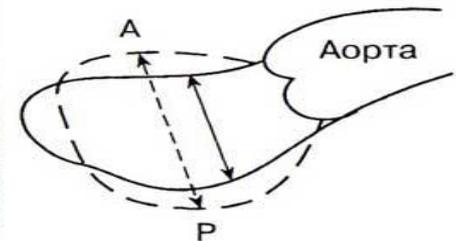
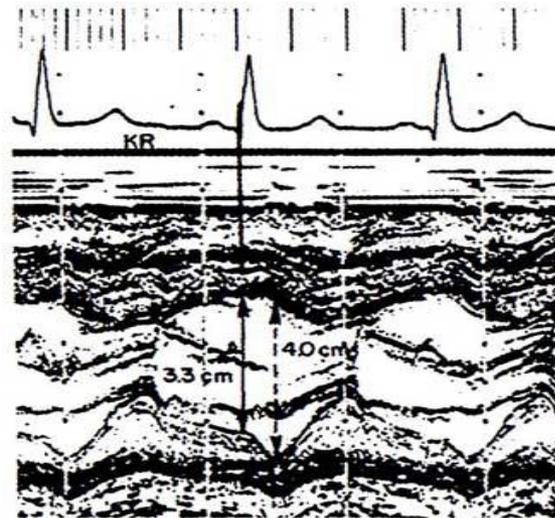


**Сканирование** = последовательный просмотр обследуемой области.

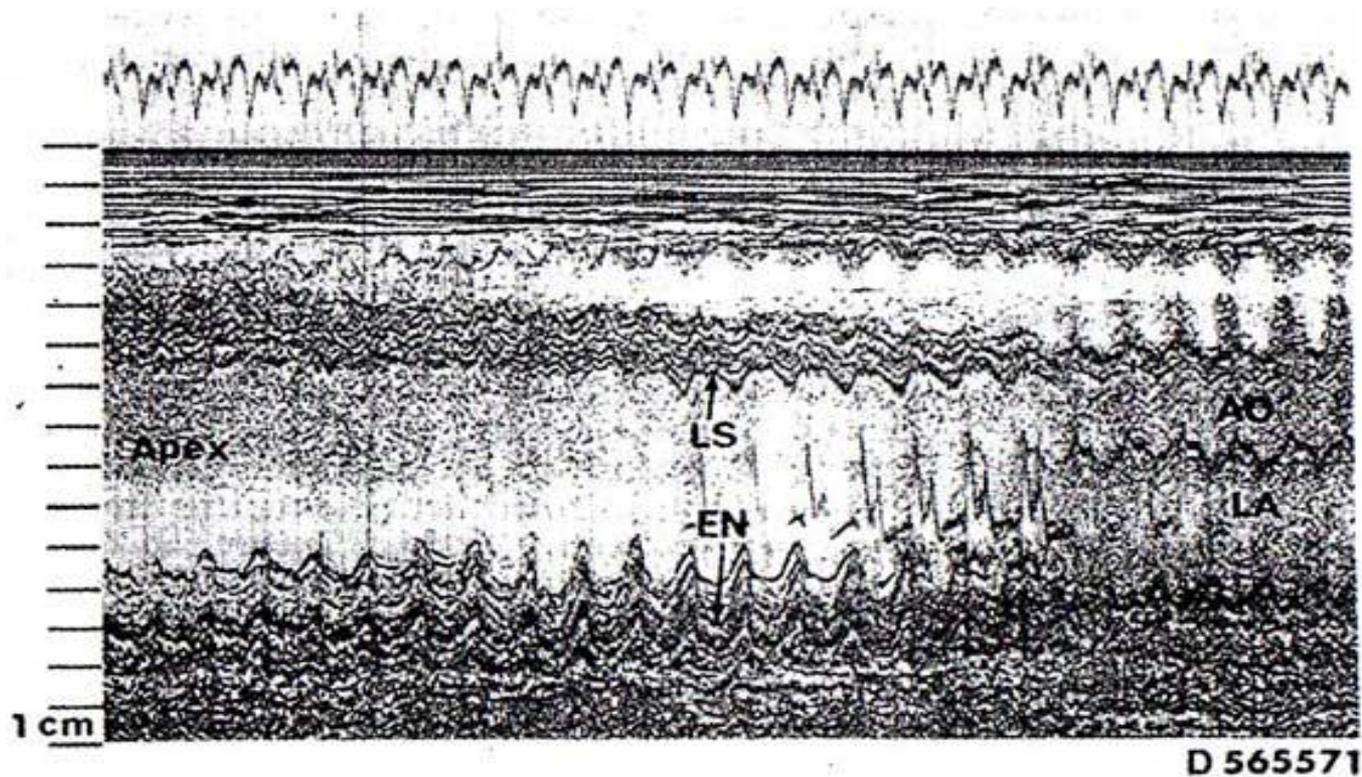
Эхосигналы, преобразованные в датчике в эл. поле, вызывают вертикальное отклонение луча развертки в форме пиков, амплитуда которых будет зависеть от интенсивности отраженной УЗ-волны.

## 2. **Режим М** – (motion - движение) – **одномерная** эхограмма с разверткой во времени

Исследование **движущихся** структур



М – эхокардиограмма ребенка младшего возраста, демонстрирующая **разницу размеров левого желудочка**, полученных в момент, соответствующий зубцу Q ЭКГ, и после начала систолы желудочка. А – передняя; Р – задняя.

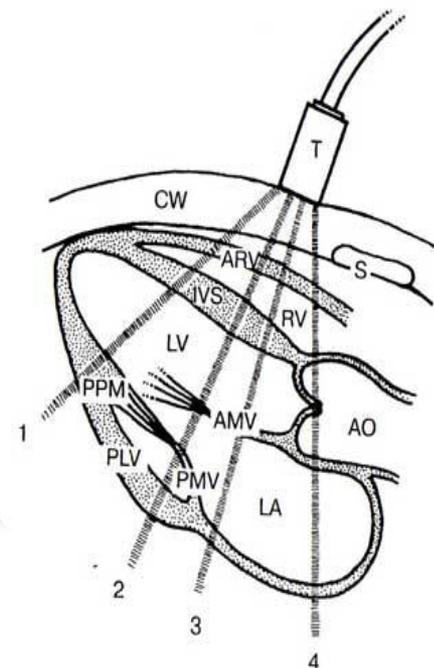
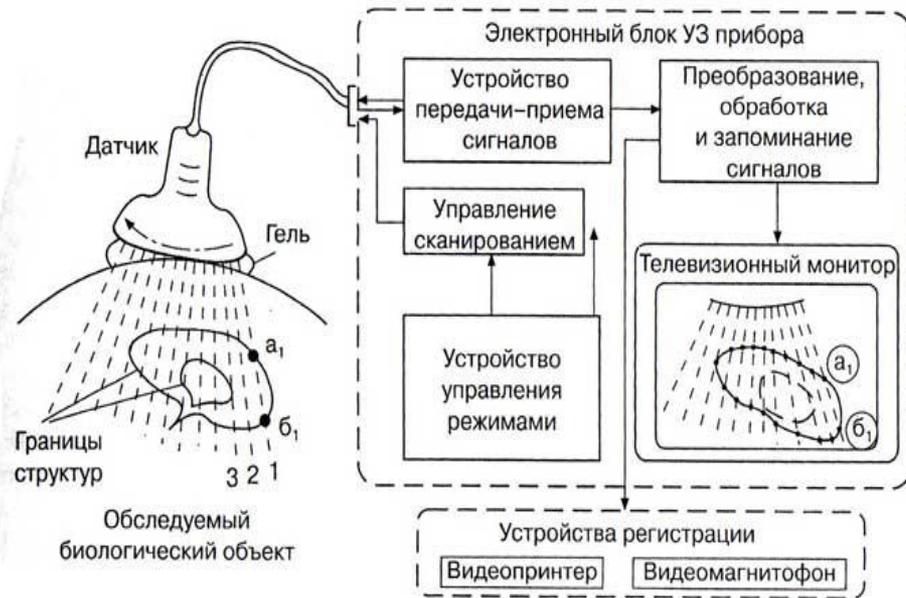


**M – эхокардиограмма пациента с ишемической болезнью сердца.** Левая сторона перегородки (LS) движется нормально у основания вблизи аорты (АО). Рядом с верхушкой движение перегородки **акинетично**. EN – задний эндокард левого желудочка; LA – левое предсердие; Apex – верхушка.

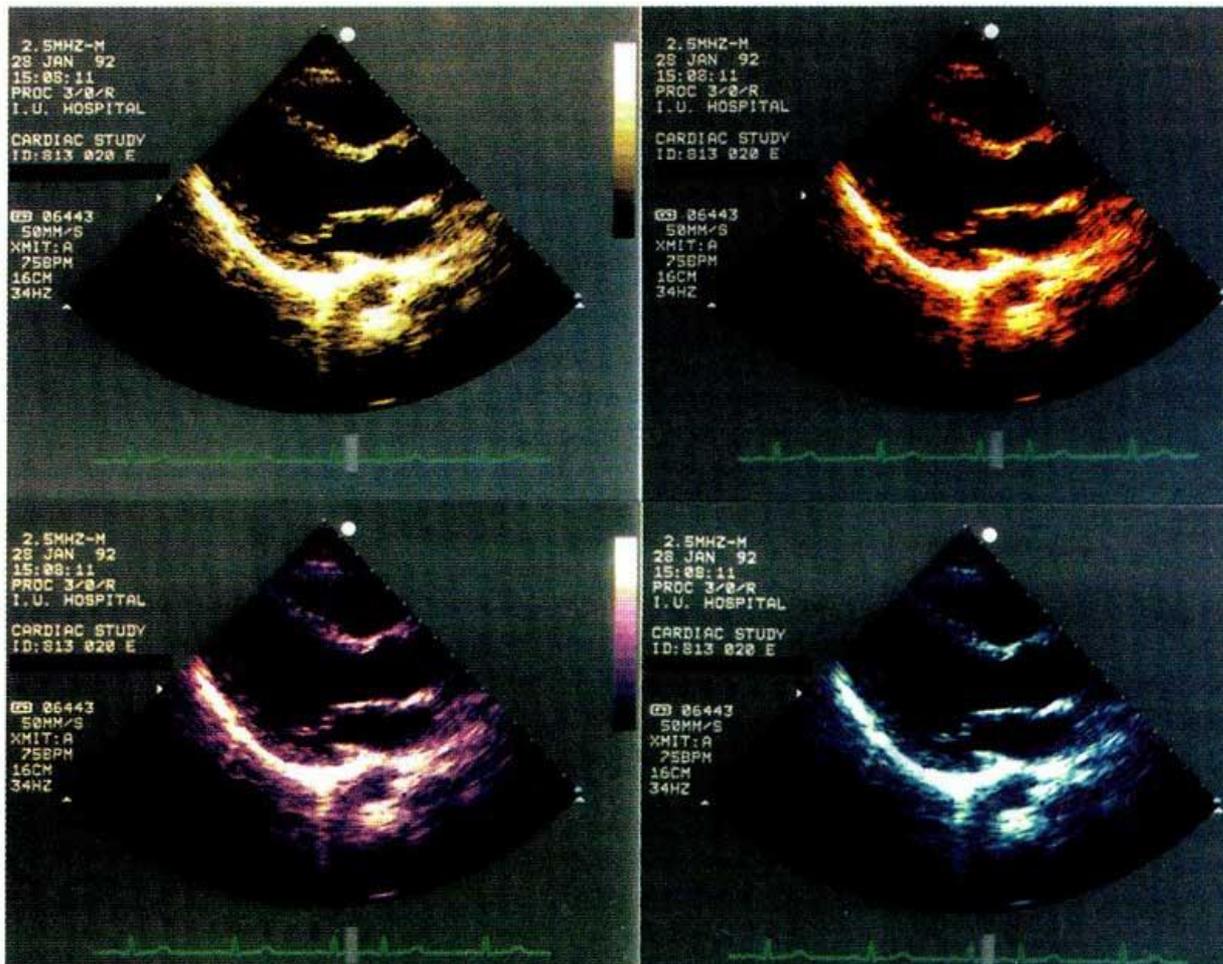
### 3. Метод В (brightness – яркость)

## Двумерное изображение поперечной картины

Эхосигналы, преобразованные в датчике в эл. поле вызывают на экране свечение точек разной яркости, а это зависит от интенсивности эхосигнала.



**Поперечное** сечение сердца, показывающее структуры, через которые проходит УЗ луч.



Цветокодированные двухмерные эхокардиограммы. Эти изображения в режиме «В-цвета» могут создаваться различными цветами и оттенками.

# Сравнение М- и В- методов

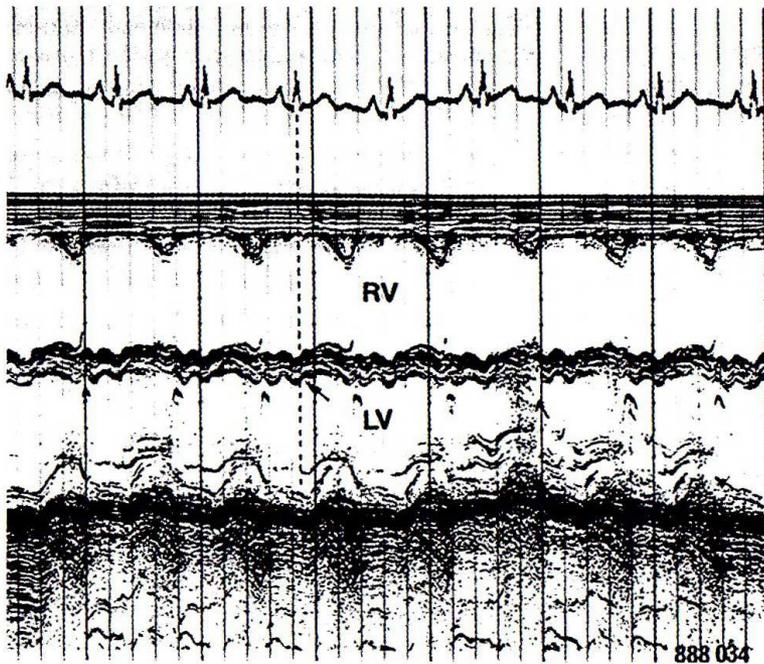
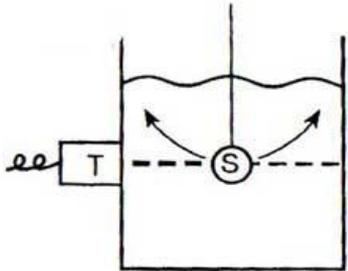
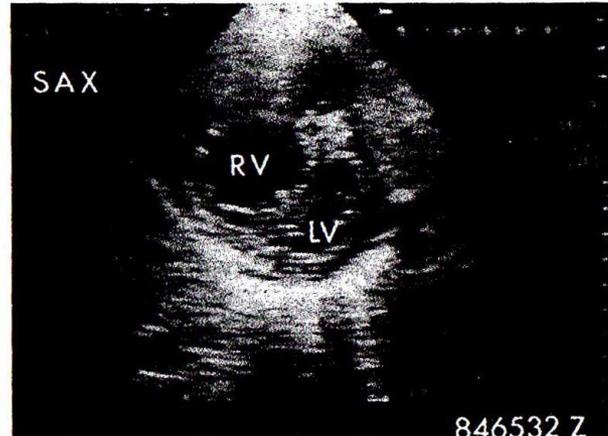
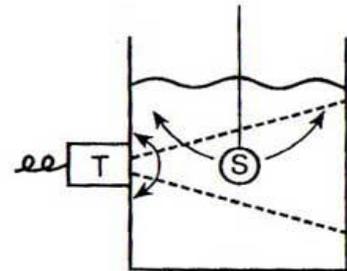


Рис. 3.55. М-эхокардиограмма пациента с объемной перегрузкой правого желудочка. Правый желудочек (RV) расширен. Во время систолы желудочка (пунктирная линия) отмечается резкое движение межжелудочковой перегородки вперед (стрелка). LV – левый желудочек.

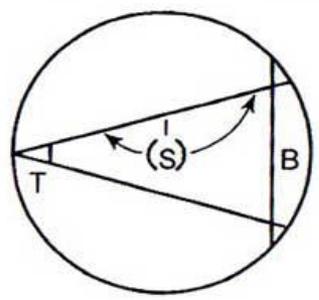
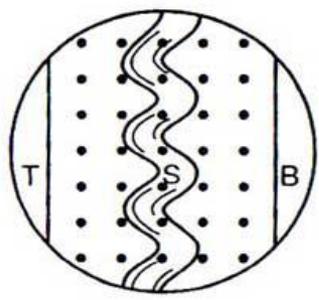
Схема, сравнивающая М-режим и двухмерное секторное сканирование сферического объекта, движущегося как маятник в мензурке с водой.



М-режим



Двухмерное секторное сканирование (В-режим)



# Использование ультразвука для лечения

**УЗ**  
**НИЗКИХ** интенсивностей

Физиотерапия

$\nu = 880 \text{ кГц}$   
 $I = 1 \text{ Вт/см}^2$

Глубина  
проникновения 3-5 см

**УЗ**  
**ВЫСОКИХ**  
интенсивностей

УЗ хирургия

$I = 10^3 \text{ Вт/см}^2$

Цель: вызвать *управляемое  
избирательное разрушение*  
в тканях.

Два метода:

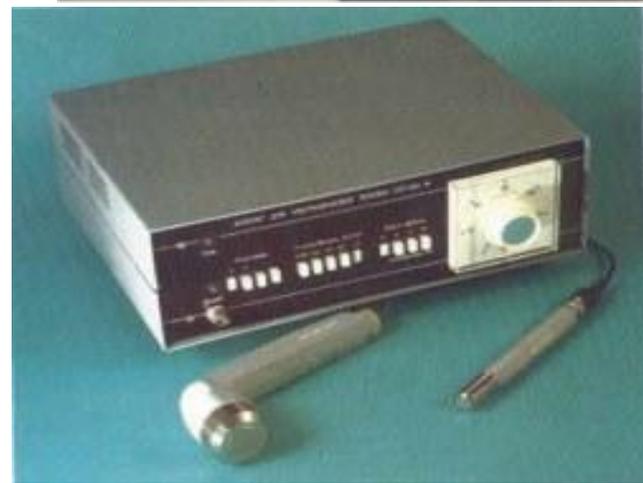
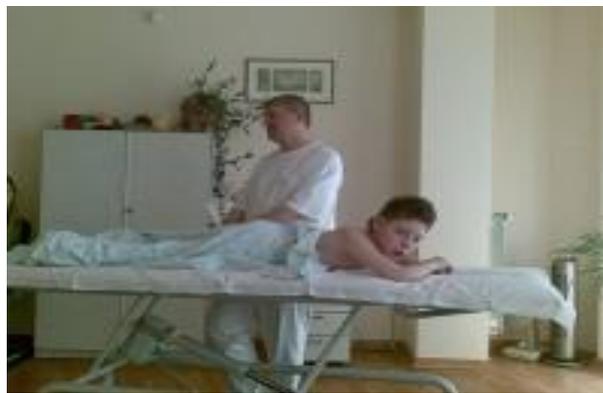
- Разрушение тканей УЗ  
 $\nu = 4 \text{ МГц}$
- Снижение усилия при  
резании  $\nu = 50 \text{ кГц}$

# Фонофорез



УЗ -ингалятор

УЗ- акупунктура



# УЗ остеосинтез = соединение поврежденных (сломанных) костей

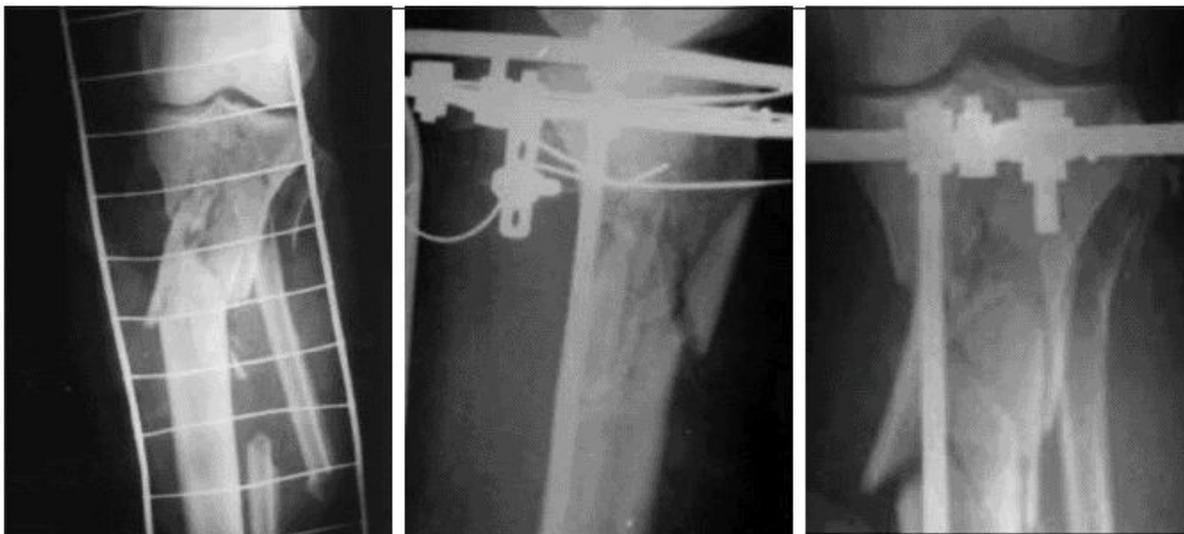


Рис. 1. Рентгенограммы больной Б. 37 лет, с переломом проксимального метаэпифиза большеберцовой кости типа С2 и остеосинтезом аппаратом Илизарова

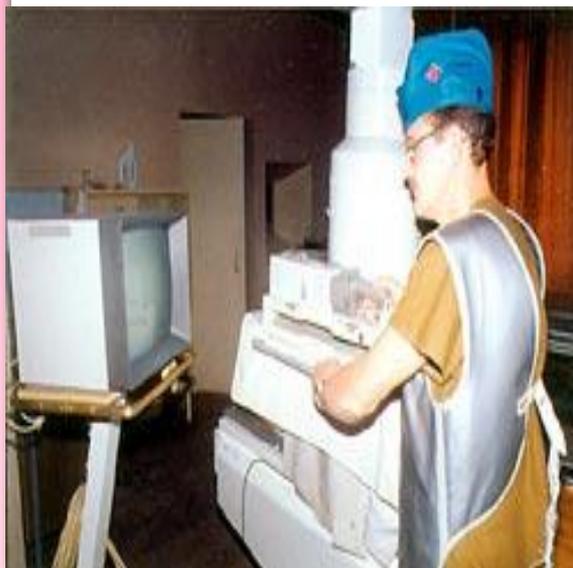


Рис. 2. Общий вид конечности больной Б. 37 лет в процессе лечения и после демонтажа аппарата Илизарова





Частота **55 кГц**



**УЗ скальпель**  
**HARMONIC**

