

**Казанский Государственный
Медицинский Университет**

**Кафедра медицинской
и биологической
физики**

Основы колебательных процессов

Характеристики движения

$$\Delta x \quad \Delta t$$

$$\Delta t \rightarrow 0 \quad dt$$

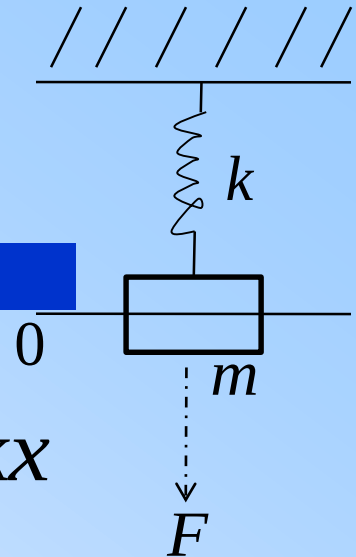
$$\Delta x \rightarrow dx$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad \text{отсюда} \quad v = \frac{dx}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \text{или} \quad a = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Собственные колебания

$$x = f(t)$$

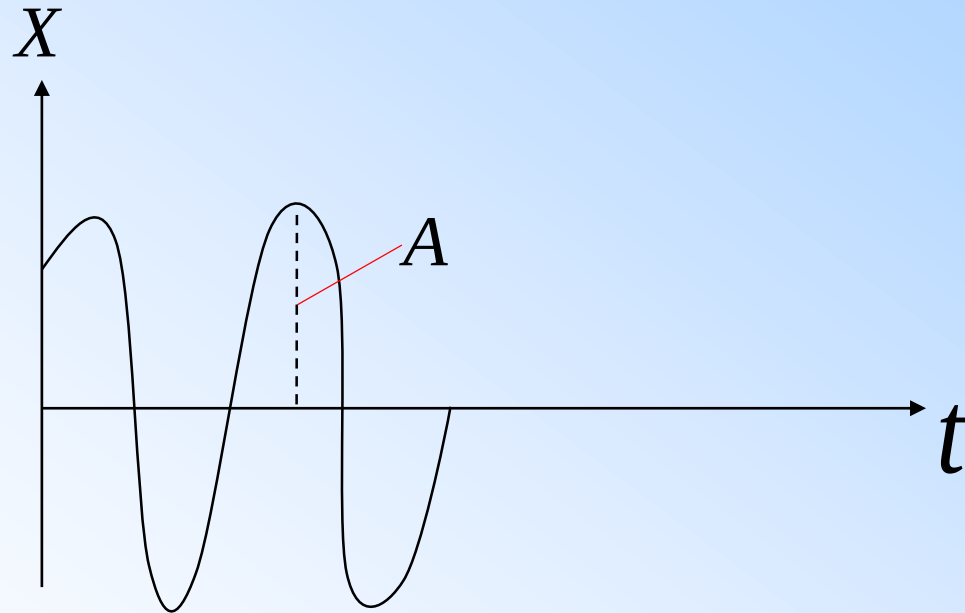


$$F = F_{\text{ynp}} ; F = ma ; F_{\text{ynp}} = -kx ; ma = -kx$$

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} ; m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0 ; \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0 ;$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad A, \quad T, \quad \varphi_0, \quad T = \frac{1}{\nu}, \quad \omega = 2\pi\nu$$



Затухающие колебания

$$F = F_{\text{ynp}} + F_{\text{mp}}$$

$$F_{\text{mp}} = -rV = -r \frac{dx}{dt} ; \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 ; \quad \frac{r}{m} = 2\beta$$

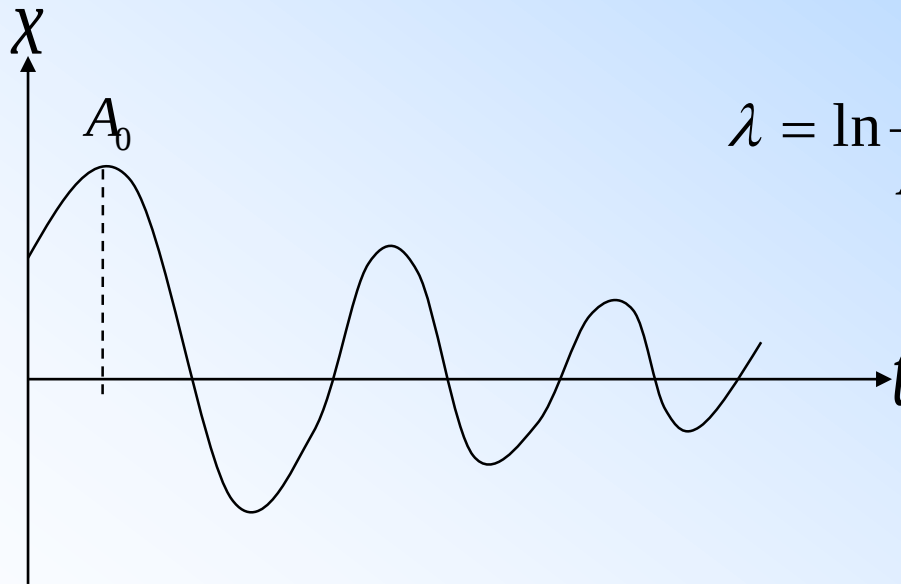
$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2$$

$$A = A_0 e^{-\beta t}$$

$$\beta = \frac{1}{T}$$

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$$



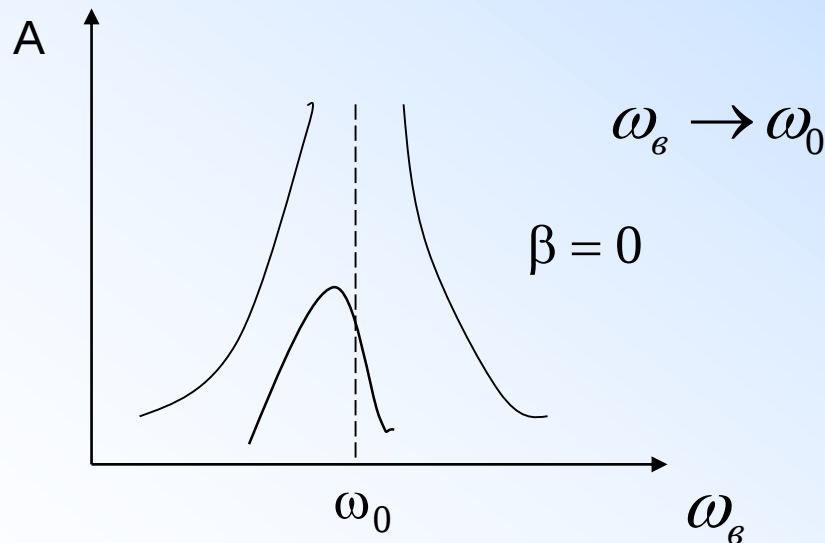
Вынужденные колебания

$$F = F_{ynp} + F_{mp} + F_B$$

$$F_B = F_0 \cos \omega_\epsilon t$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega_\epsilon t ; \quad f_0 = \frac{F_0}{m}$$

$$x = A_\epsilon \cos(\omega_\epsilon t + \varphi_0)$$



$$A_\epsilon = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_\epsilon^2 - \omega_0^2)^2 + 4\beta^2 \omega_\epsilon^2}}$$

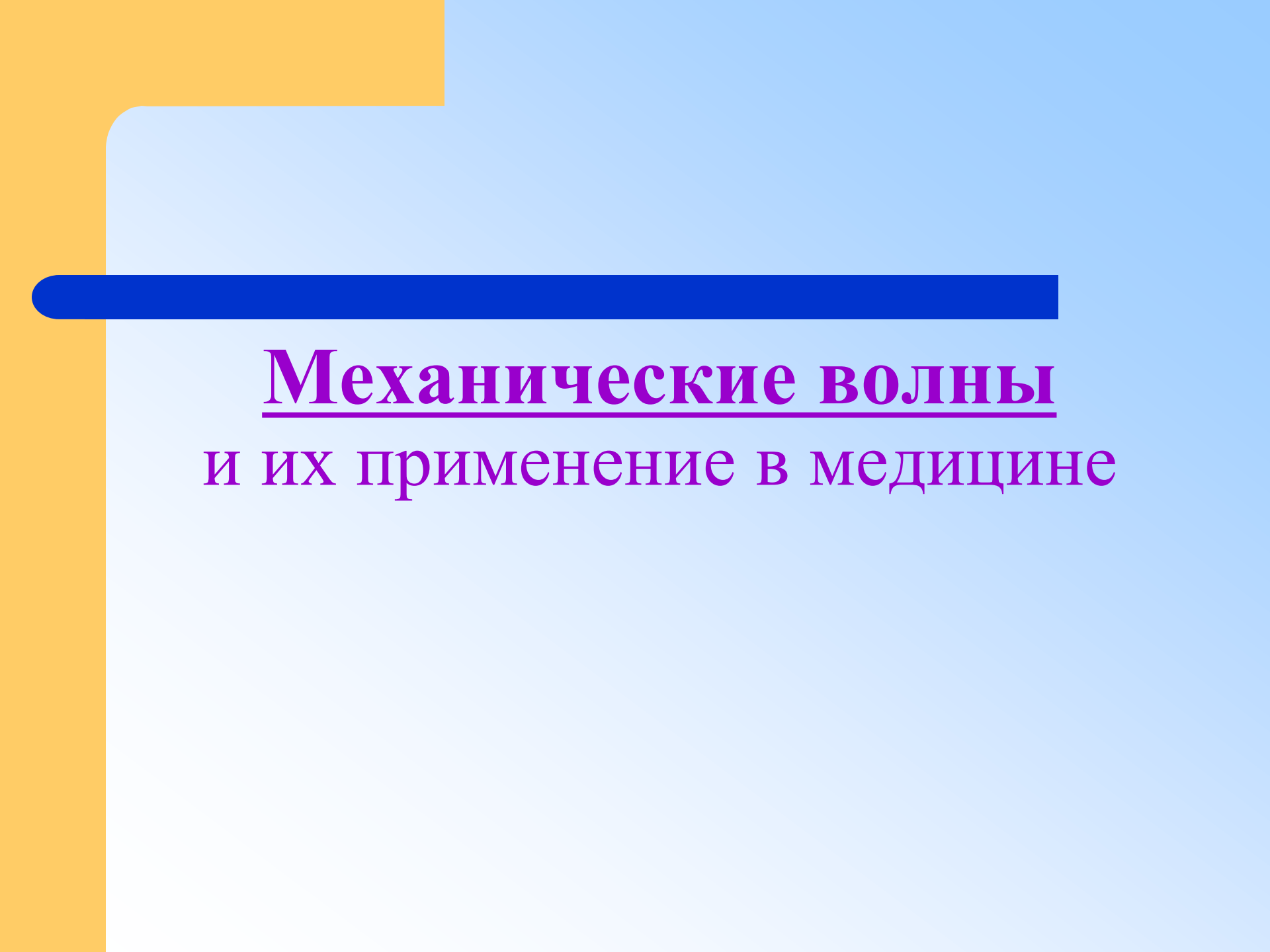
$$\omega_{pez} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$$A_{pez} = \frac{f_0}{2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

Автоколебания



Обратная связь



Механические волны и их применение в медицине

Механическая волна – процесс распространения колебаний в среде

Условия возникновения механических волн:

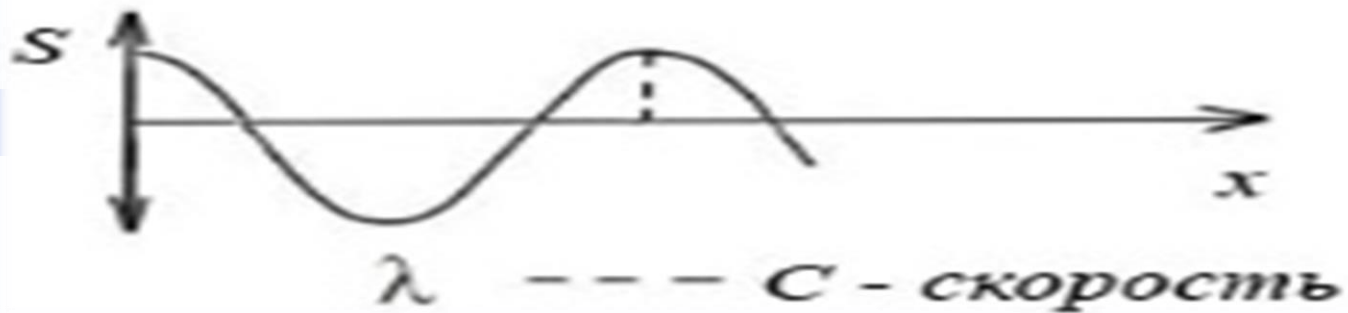
1. Наличие источника колебаний
2. Связь между частицами среды
3. Перенос энергии от частицы к частице

Длина волны – наименьшее расстояние между двумя точками среды, колеблющимися в одинаковой фазе $\Delta\varphi = 2\pi$

Длина волны – это расстояние, проходимое волной за время равное одному периоду колебания $\lambda = T\nu = \frac{v}{\nu}$

v – скорость распространения волны

ν – частота волны



$$\omega t - \frac{\omega x_1}{c} - \omega t + \frac{\omega x_2}{c} = 2\pi$$

$$\frac{\omega}{c}(x_2 - x_1) = 2\pi$$

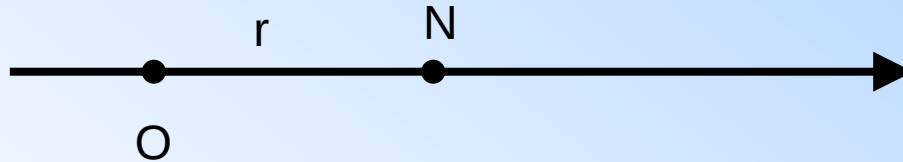
$$x_2 - x_1 = \lambda$$

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$

$$\frac{2\pi}{Tc}(x_2 - x_1) = 2\pi$$

$$x_2 - x_1 = Tc = \lambda$$

Уравнение бегущей ВОЛНЫ



O – источник колебаний

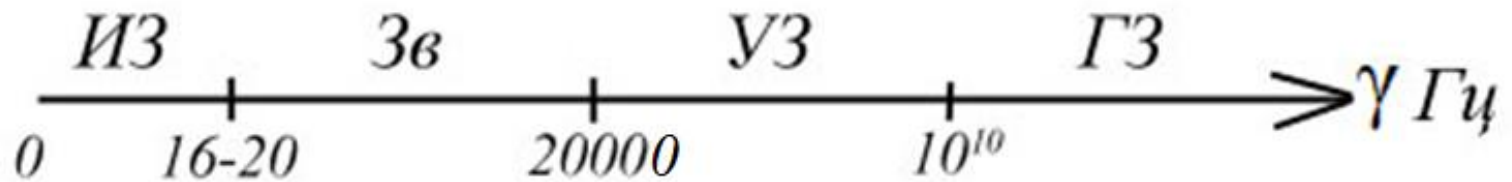
v - скорость распространения волны в данной среде

$$X_O = A \cos \omega t$$

$$X_N = A \cos \omega (t - r/v) = A \cos (2\pi vt - 2\pi r/\lambda)$$

$$\text{т.к. } \omega = 2\pi v; \quad v = \lambda \nu$$

Шкала механических волн



Инфразвук ИЗ

Звук Зв

Ультразвук УЗ

Механические волны и их применение в медицине



Звуковые волны



Звук. Объективные характеристики звука (физические)

Звук – продольные механические волны частотой от 16 до 20000 Гц.

$$\Delta p = \Delta p_0 \cos \omega \left(t - \frac{r}{v} \right); \quad \Delta p$$

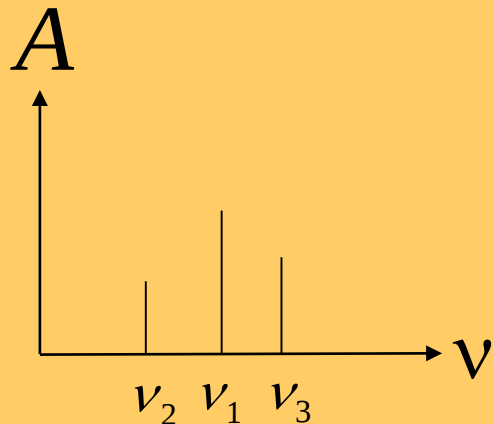
- звуковое давление

$$(\Delta p_0)^2 = 2I \cdot \rho \cdot v$$

• интенсивность - $I \left(\frac{Вт}{м^2} \right)$

• частота - (Гц)

• акустический спектр



Субъективные характеристики звука (физиологические)

- *громкость (E)*
- *высота*
- *тембр*

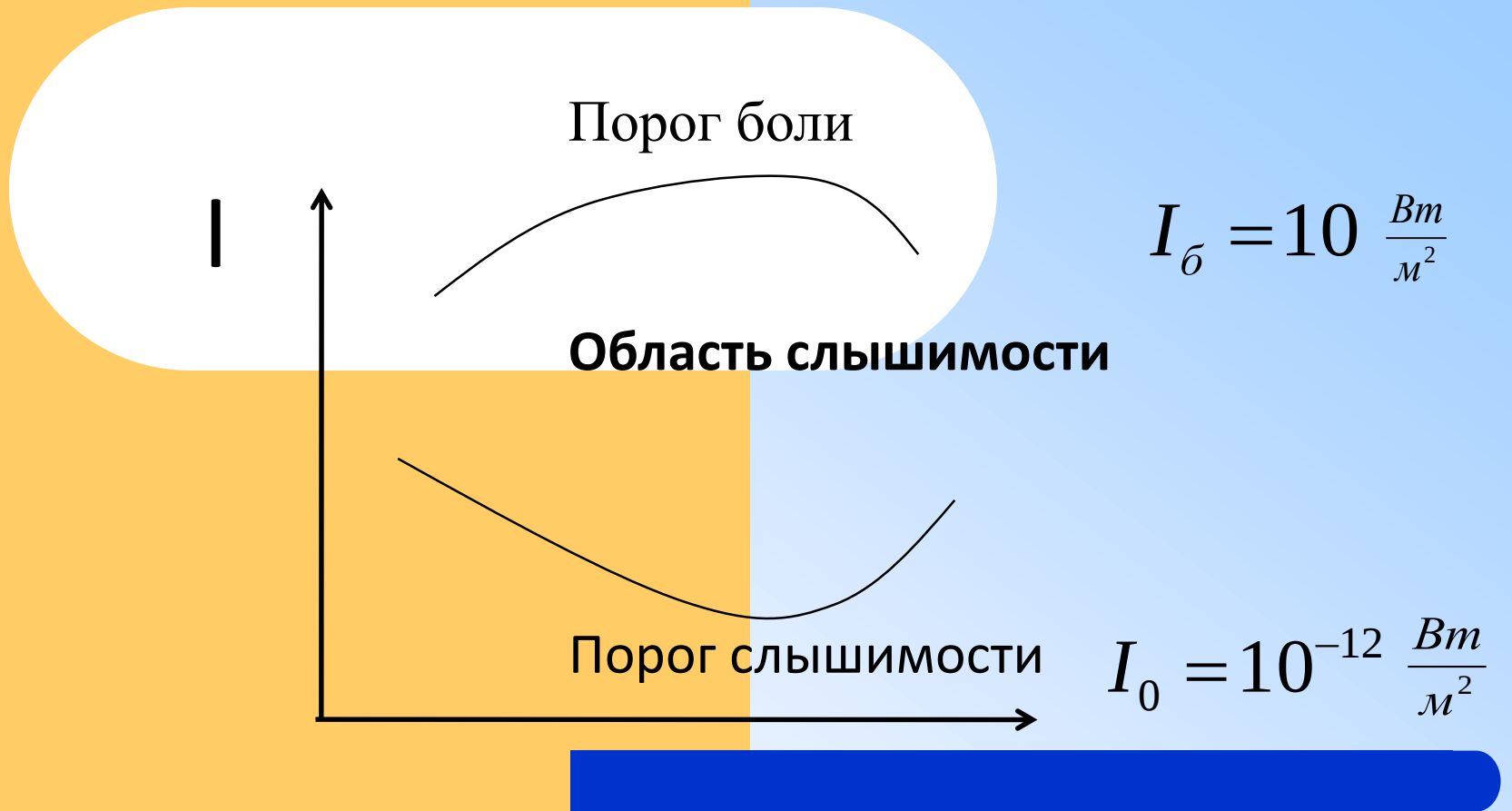
Громкость (E) -- уровень интенсивности,
частота

Высота -- частота звука

Тембр -- акустический спектр

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

- закон Вебера-Фехнера

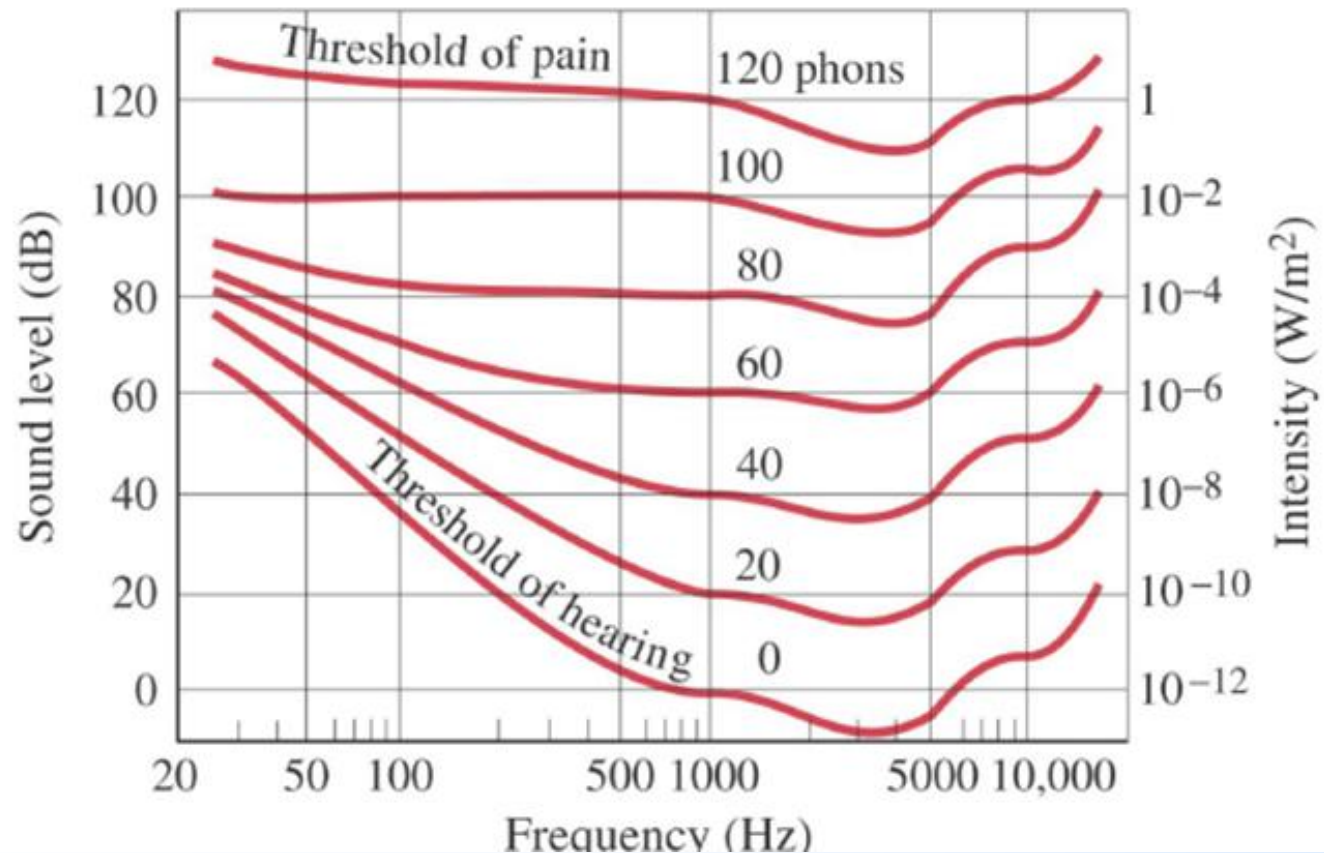


Звуковые методы исследования: аускультация, фонокардиография, перкуссия, аудиометрия

The Ear and its Response; Loudness

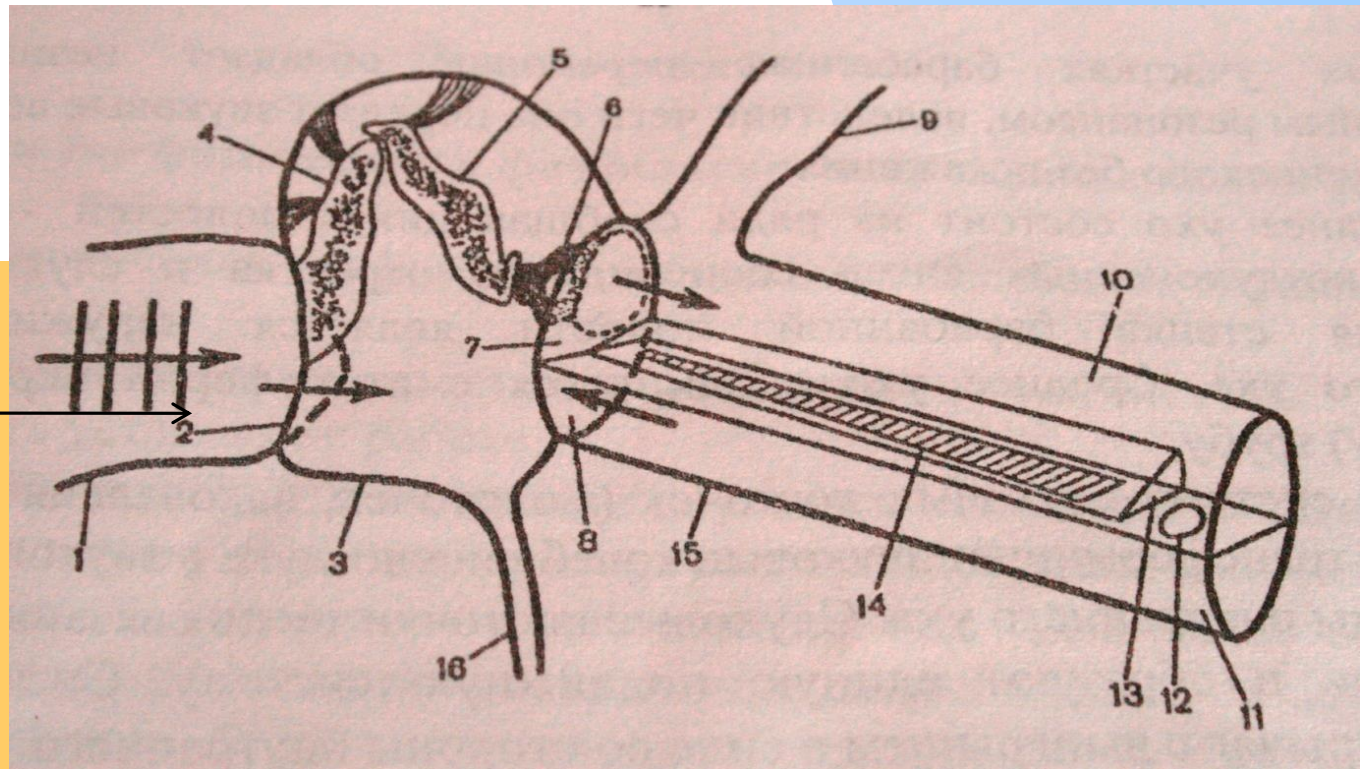
The ear's sensitivity varies with frequency. These curves translate the intensity into sound level at different frequencies.

Equal Loudness Curves



Физика слуха

Δp



Инфразвуковые волны



- **Инфразвѹк** (от лат. *infra* — ниже, под) — механические волны, имеющие частоту ниже воспринимаемой человеческим ухом.
- Поскольку обычно человеческое ухо способно слышать звуки в диапазоне частот 16—20'000 Гц, за верхнюю границу частотного диапазона инфразвука обычно принимают 16 Гц.
- Нижняя же граница инфразвукового диапазона условно определена как 0,001 Гц. Практический интерес могут представлять колебания от десятых и даже сотых долей герц, то есть с периодами в десятки секунд

- Инфразвук подчиняется общим закономерностям, характерным для звуковых волн, однако обладает целым рядом особенностей, связанных с низкой частотой колебаний упругой среды



- инфразвук имеет гораздо большие амплитуды колебаний в сравнении с равномошным слышимым человеком звуком;
- инфразвук гораздо дальше распространяется в воздухе, поскольку поглощение инфразвука атмосферой незначительно;
- благодаря большой длине волны для инфразвука характерно явление дифракции, вследствие чего он легко проникает в помещения и огибает преграды, задерживающие слышимые звуки;
- инфразвук вызывает вибрацию крупных объектов, так как входит в резонанс с ними.

Источники инфразвука

Природные источники

- Инфразвук генерируется планетарной корой при землетрясениях, ударах молний, при сильном ветре (инфразвуковой аэродинамический шум) во время бурь и ураганов (в последнем случае регистрация инфразвука, в том числе нарастание инфразвукового фона, — верный признак приближения шторма).

- Прибрежные сухопутные и морские животные уходят в глубь суши и воды соответственно, заслышав нарастающий инфразвуковой шум и следовательно ожидая приближение шторма).
- При помощи инфразвука общаются между собой киты и слоны.



Техногенные источники

- Техногенный инфразвук генерируется разнообразным оборудованием при колебаниях поверхностей больших размеров, мощными турбулентными потоками жидкостей и газов, при ударном возбуждении конструкций, вращательном и возвратно-поступательном движении больших масс.



- Основными техногенными источниками инфразвука являются тяжёлые станки, ветрогенераторы, вентиляторы, электродуговые печи, поршневые компрессоры, турбины, виброплощадки, водосливные плотины, реактивные двигатели, судовые двигатели.
- Кроме того, инфразвук возникает при наземных, подводных и подземных взрывах.

Распространение инфразвука

- Для инфразвука характерно малое поглощение в различных средах, вследствие чего инфразвуковые волны в воздухе, воде и в земной коре могут распространяться на очень большие расстояния, и инфразвук может служить предвестником бурь, ураганов, цунами.



- Это явление находит практическое применение при определении места сильных взрывов или положения стреляющего орудия. (Последнее может быть использовано в контрбатарейной борьбе.)
- Звуки взрывов, содержащие большое количество инфразвуковых частот, применяются для исследования верхних слоёв атмосферы, свойств водной среды.

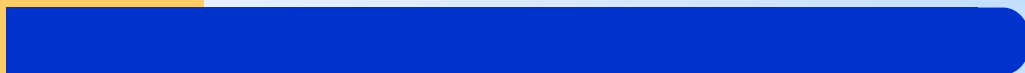
Физиологическое действие инфразвука

- Физиологическое действие инфразвука на живые существа (в том числе человека) зависит только от его спектральных, временных и мощностных характеристик и не зависит от того, на открытом пространстве или в помещении находится живой объект воздействия.



- Патогенное действие инфразвука заключается в повреждении нервной системы (в частности головного мозга), органов эндокринной системы и внутренних органов вследствие развития тканевой гипоксии из-за ликвор-гемодинамических и микроциркуляторных нарушений.
- При 180—190 дБ действие инфразвука смертельно вследствие разрыва лёгочных альвеол.

- Другие зоны интенсивных кратковременных воздействий вызывают синдром резко выраженного инфразвукового дискомфорта, предел переносимости которого наблюдается при 154 дБ.



- Исследования показали, что низкочастотные акустические колебания, в том числе и инфразвуковые, продолжительностью от 25 с до 2 мин с удельным звуковым давлением от 145 до 150 дБ в диапазоне частот от 1 до 100 Гц, вызывали у испытуемых ощущение вибрации грудной стенки, сухость в полости рта, нарушение зрения, головные боли, головокружение, тошноту, кашель, удушье, беспокойство в области подреберий, звон в ушах, модуляцию звуков речи, боли при глотании и некоторые другие признаки нарушений в деятельности организма.