

Соловьев Андрей Владимирович

Курс: «Математика, физика»

Подготовка

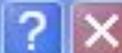
Лекции – 16 часов

1. Материалы каждой следующей лекции высылаются заранее по e-mail старосте группы.
2. Организуется распечатка выданных лекции для всех студентов группы.

Практические занятия
– 32 часа

1. 3 практические работы: материалы для подготовки с сайта кафедры (СГМУ).
2. 9 практических занятий (иметь при себе выдачи).
3. 4 зачетных занятия по 4-м темам.

Печать



Принтер

Имя: Samsung SCX-4200 Series

Состояние: Печатает, документов в ожидании: 6

Тип: Samsung SCX-4200 Series

Порт: USB001

Заметки:

Свойства

Найти принтер...

печать в файл

Диапазон печати

все текущий слайд выделенное

произвольный показ:

слайды:

Введите номера слайдов или диапазоны номеров. Например: 1;3;5-12

Копии

число копий:

1



разобрать по копиям

Печатать:

Выдачи

Выдачи

слайдов на странице: 3

Цвет или оттенки серого:

Черно-белый

Порядок: горизонтальный вертикальный



масштабировать по листу

оформление слайдов

печатать примечания и рукописные примечания

печать скрытых слайдов

Просмотр

OK

Отмена

Лекция 3

Элементы биомеханики дыхания

1. Стадии процесса дыхания
2. Дыхательная система
3. Внешнее дыхание, биомеханика вдоха – выдоха
4. Альвеолярная вентилляция, газообмен между альвеолярным воздухом и кровью
5. Расстояние от легких, сопротивление дыханию
6. Работа дыхания

Дыхание — физиологическая функция, обеспечивающая газообмен (O_2 и CO_2) между окружающей средой и организмом в соответствии с его метаболическими потребностями.

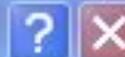
1. Стадии дыхания

1.1 Внешнее дыхание: обмен O_2 и CO_2 между внешней средой и кровью легочных капилляров:

а) газообмен между внешней средой и альвеолами легких, что обозначается как «легочная вентилляция» и «альвеолярная вентилляция»;

б) газообмен между альвеолярным воздухом и кровью легочных капилляров

Печать



Принтер

Имя: Samsung SCX-4200 Series

Свойства

Состояние: Печатает, документов в ожидании: 6

Тип: Samsung SCX-4200 Series

Порт: USB001

Заметки:

Найти принтер...

печать в файл

Диапазон печати

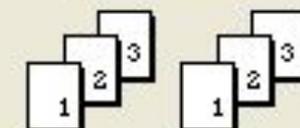
- все
- текущий слайд
- выделенное
- произвольный показ:
- слайды:

Введите номера слайдов или диапазоны номеров. Например: 1;3;5-12

Копии

число копий:

1



разобрать по копиям

Печатать:

Выдачи

Цвет или оттенки серого:

Черно-белый

Выдачи

слайдов на странице: 6

Порядок: горизонтальный вертикальный



масштабировать по листу

оформление слайдов

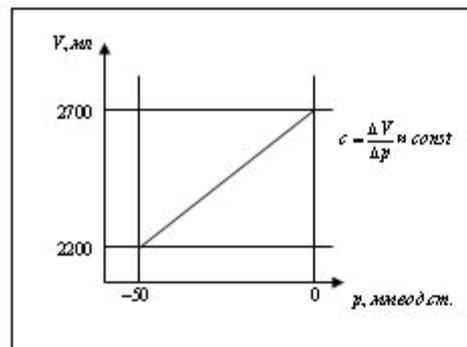
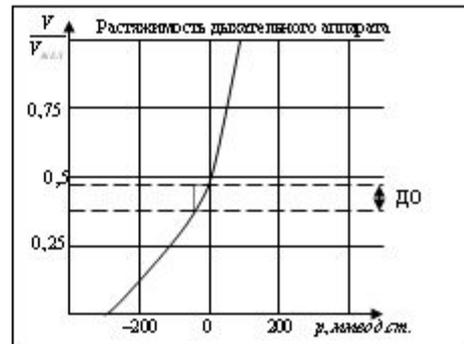
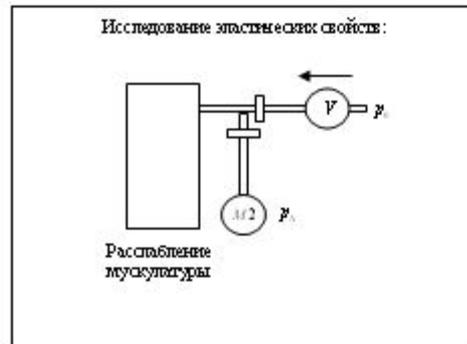
печатать примечания и рукописные примечания

печать скрытых слайдов

Просмотр

OK

Отмена



Характеристика эластических свойств аппарата двояковогнутого – расширимость:

$$c \approx \frac{500}{50} = 10 \frac{\text{мл}}{\text{мм вод.ст.}}$$

(Самостоятельно перевести в СИ)

Отсюда:

Стойкий выдох:

$$\Delta V = 500 \text{ мл}$$

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{c} = \frac{500}{10} = 50 \text{ мм вод.ст.}$$

Расширимость аппарата двояковогнутого (в целом):

$$c = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

Расширимость грудной клетки:

$$c_{гк} = \frac{\Delta V_{гк}}{\Delta p_{гк}}$$

Расширимость легких:

$$c_{л} = \frac{\Delta V_{л}}{\Delta p_{л}}$$

$$\Delta V = \Delta V_{гк} + \Delta V_{л}$$

$$\Delta p = \Delta p_{гк} + \Delta p_{л}$$

$$c = \frac{\Delta V}{\Delta p_{гк} + \Delta p_{л}} = \frac{1}{\frac{\Delta p_{гк}}{\Delta V} + \frac{\Delta p_{л}}{\Delta V}} = \frac{1}{\frac{1}{c_{гк}} + \frac{1}{c_{л}}} = \frac{c_{гк} \cdot c_{л}}{c_{гк} + c_{л}}$$

Условия безболезненного зачета по дисциплине:

1. Посещение всех лекций и практических занятий.
2. Выполнение и защита трех практических работ.
3. Выполнение всех заданий, полученных на практических занятиях.
4. Своевременная сдача четырех тематических зачетов.

Лекция 1

Свободные механические колебания.

Энергия колебательного движения.

Вынужденные колебания.

Резонанс.

Механические волны.

Поток энергии и интенсивность волны.

Звук и его характеристики.

Ультразвук и инфразвук.

Эффект Доплера.

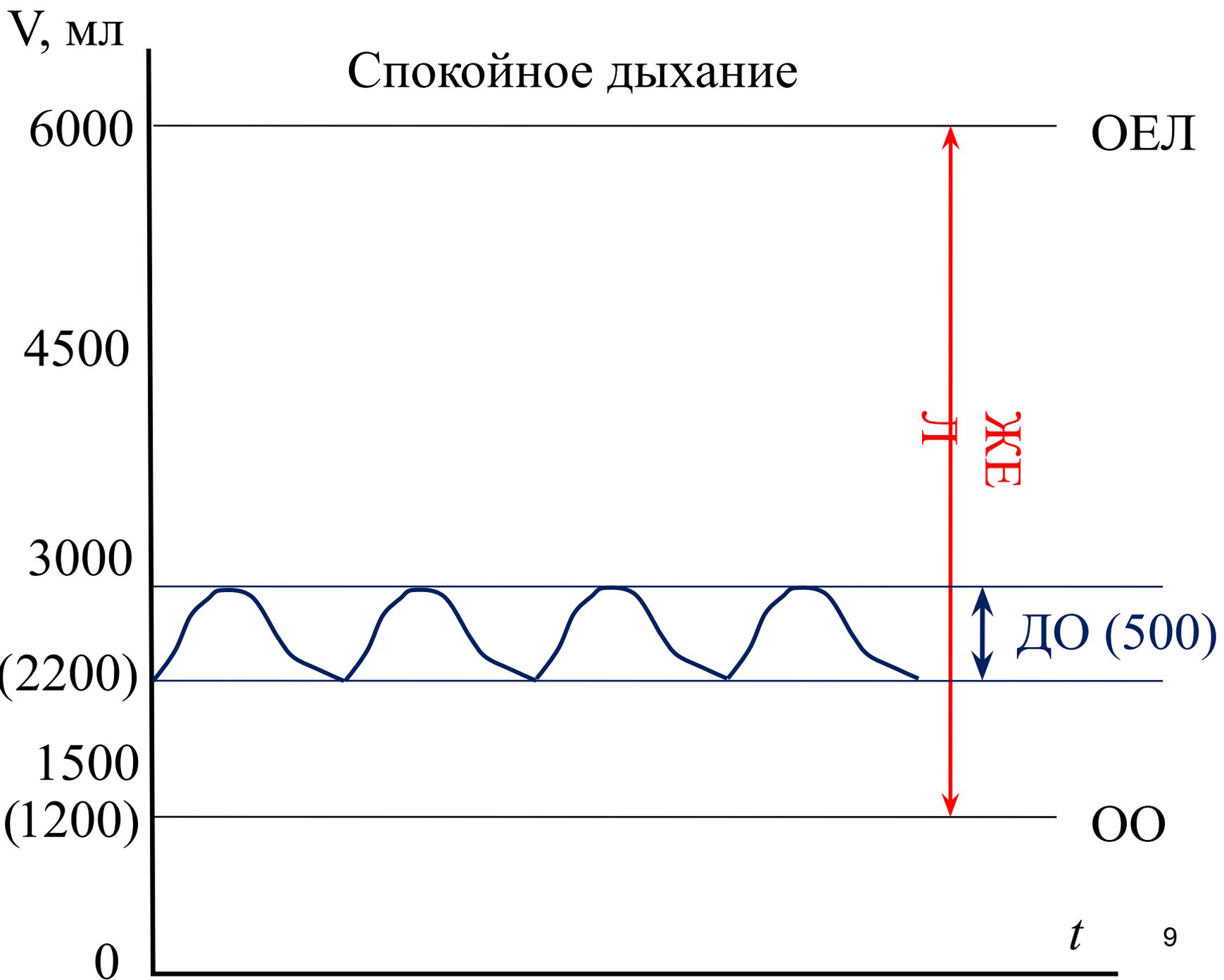
Связь с последующей деятельностью

Изучение курса «Биофизика»:

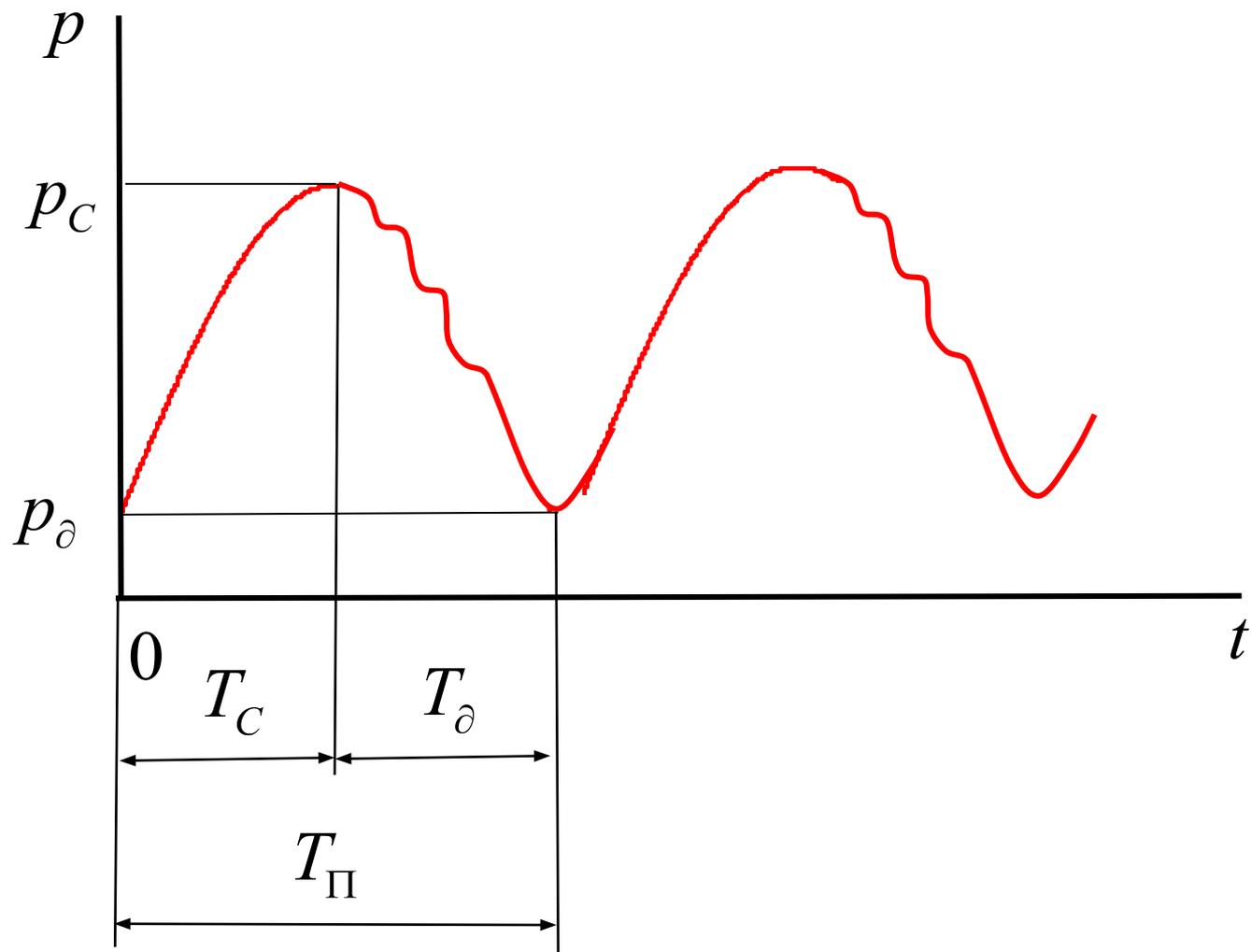
1. Биофизика слуха
2. Биологическая электродинамика
3. Электрография

Практическое применение:

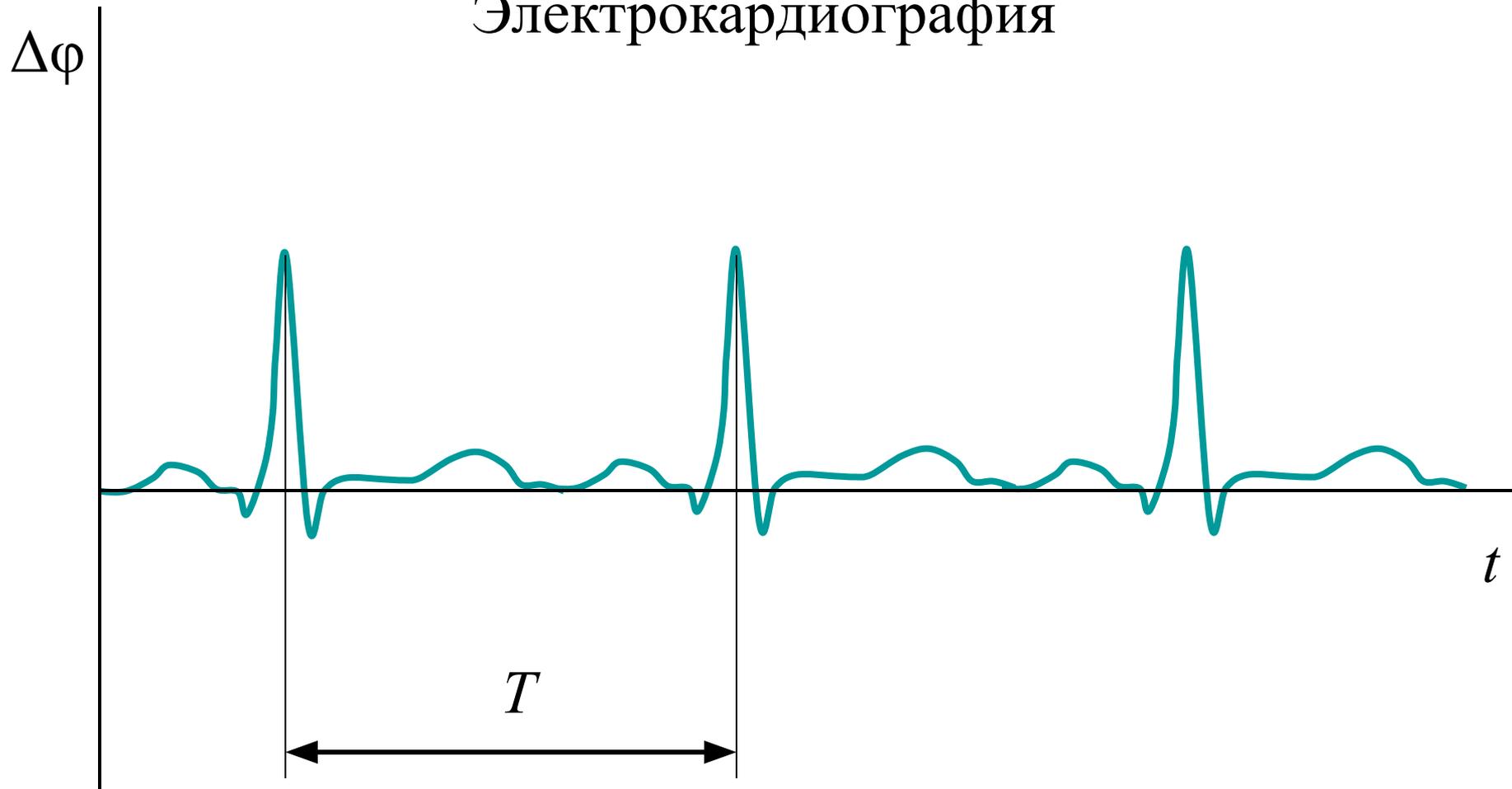
1. Многие процессы в организме – периодические:
сердечные сокращения, дыхание и т.д.
2. Звуковые (аускультация, перкуссия) и
ультразвуковые методы исследования.
3. Электрографические методы исследования.



Экспериментальная кривая $p = f(t)$ для сонной артерии



Электрокардиография



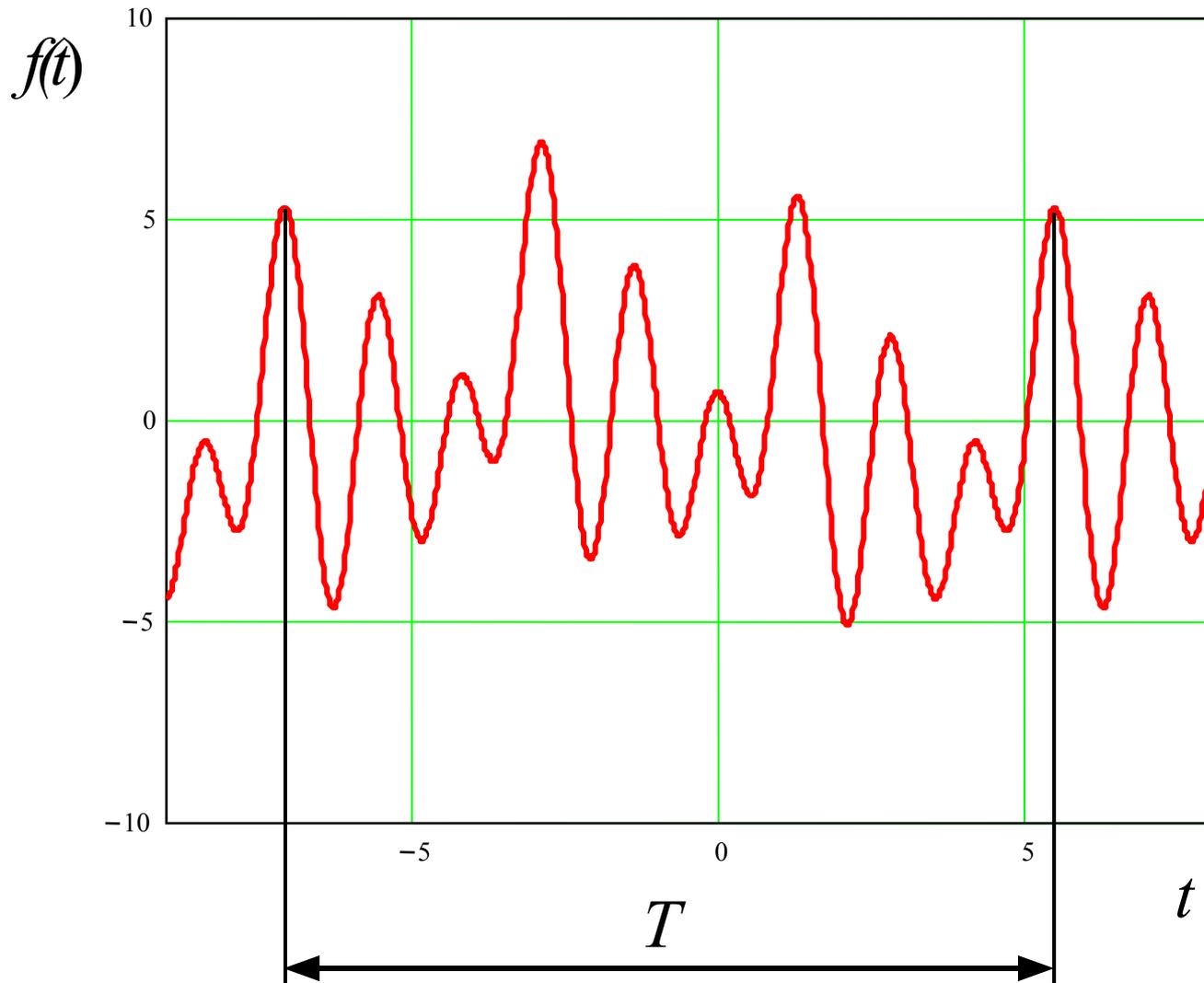
Вывод: дыхание, сердечные сокращения, генерация электрического сигнала и т.д. – периодические процессы, характеризуемые повторяемостью во времени какого-то физического параметра:

$$f(t) = f(t + T)$$

Любой периодический процесс можно представить суммой простых гармонических процессов (разложение в ряд Фурье):

$$f(t) = C + \sum_{i=1}^{i=\infty} A_i \cos\left(\frac{2\pi}{T_i} t + \phi_i\right)$$

$$f(t) = \cos(0,5t - 5) + 1,5 \cos(1,5t - 2) + 2 \cos(3t + 3) + 3 \cos(4,5t)$$



Простой гармонический процесс:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$x(t)$ – значение гармонически изменяющейся величины в момент времени t (например, смещение колеблющейся точки относительно положения равновесия);

A – амплитуда колебаний;

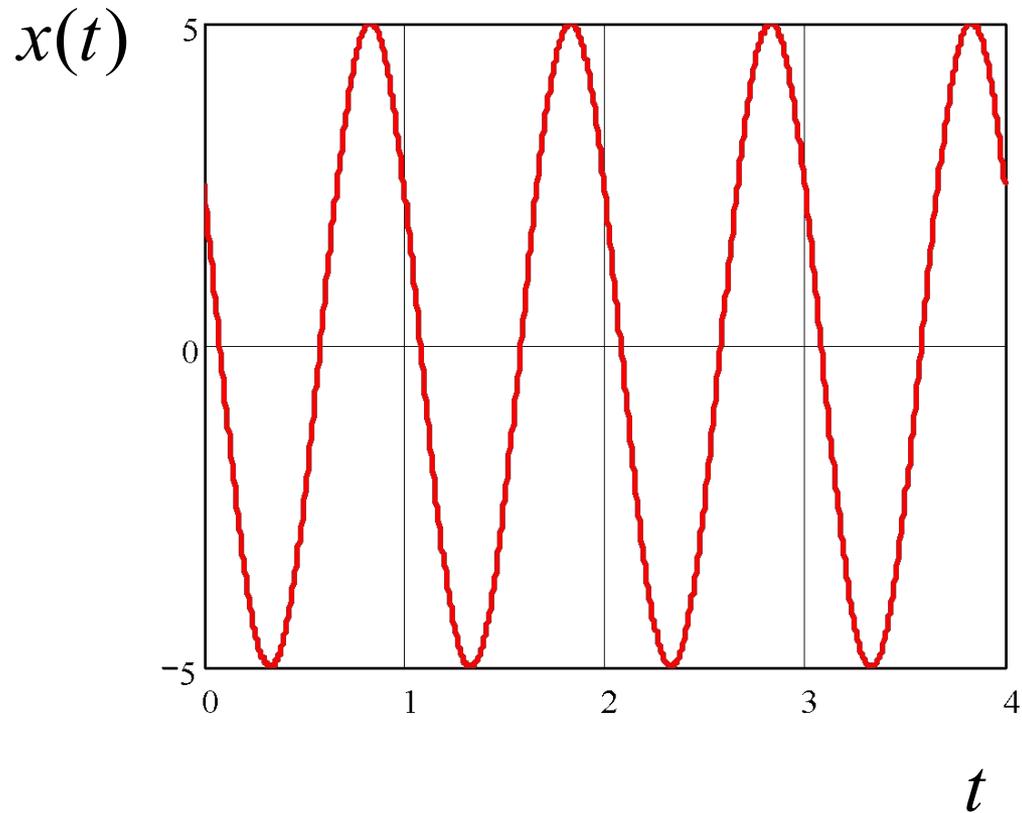
$\varphi = \omega t + \varphi_0$ – фаза колебаний в момент времени t ;

φ_0 – начальная фаза колебаний;

ω – циклическая частота колебаний;

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ – период колебаний; $\nu = \frac{1}{T}$ – частота колебаний

Полное графическое представление гармонического колебания:



$$A$$
$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$
$$\varphi_0$$

Кинематика и динамика гармонических
механических колебаний:

$$x(t) = A \cdot \cos \omega t$$

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \dot{x} = -\omega A \cdot \sin \omega t = \omega A \cdot \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) =$$

$$= v_0 \cdot \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad v_0 = \omega A$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} = -\omega^2 A \cdot \cos \omega t = a_0 \cdot \cos \left(\omega t + \pi \right) +$$

$$a_0 = \omega^2 A$$

Дифференциальное уравнение собственных незатухающих гармонических колебаний:

$$x = A \cdot \cos \omega_0 t$$
$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = \boxed{\times} = -\omega_0^2 A \cdot \cos \omega_0 t$$
$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = \boxed{\times} = -\omega_0^2 \cdot x$$

$$\boxed{\times} + \omega_0^2 \cdot x = 0$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

$$F_p = m \cdot a = -m \cdot \omega_0^2 \cdot x = -k \cdot x$$

Равнодействующая сила – упругая (квазиупругая) 17

Осцилляторы

Пружинный маятник:

$$mg = 0; \quad \vec{F}_{TP} = 0$$

Второй закон Ньютона:

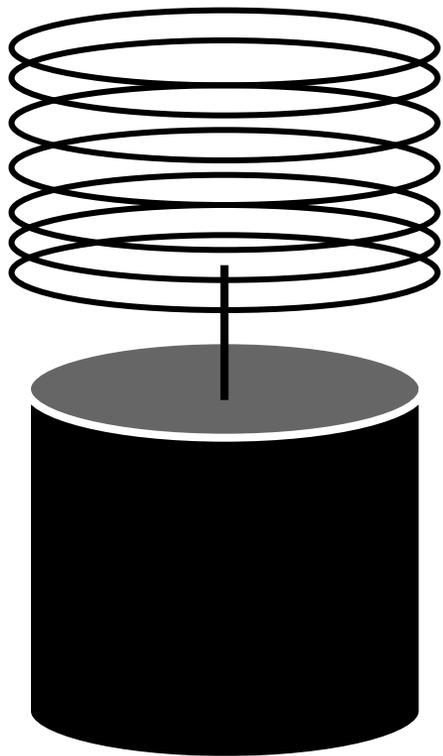
$$ma = m \cdot \ddot{x} = F_{Гука} = -k \cdot x$$

$$m \cdot \ddot{x} + k \cdot x = 0$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$$

$$\ddot{x} + \omega_0^2 \cdot x = 0$$

k



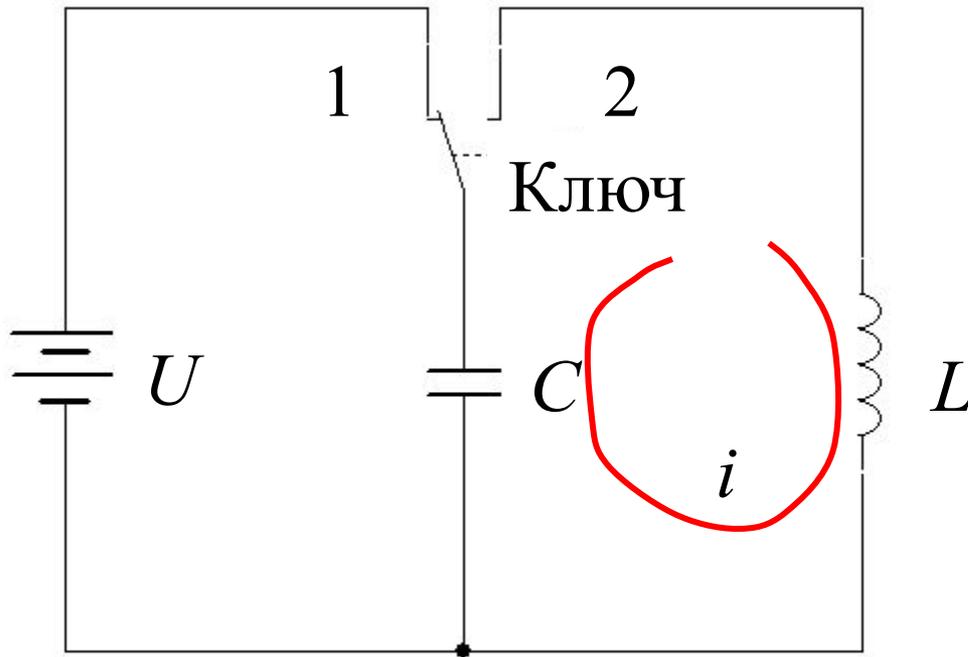
m

Математическая
эквивалентность

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T_0 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Электрическая аналогия:



$$1: t \rightarrow \infty; \quad q_C = q_{\max} = CU$$

$$2: q_C = q; \quad i_C = i_L = i$$

$$u_C = \frac{q}{C} = \varepsilon_{sL} = -\dot{L}i = -\dot{L}q$$

$$\dot{L}q + \frac{q}{C} = 0$$

$$\dot{q} + \frac{q}{LC} = 0$$

$$\text{Сравни: } \ddot{x} + \omega_0^2 \cdot x = 0$$

$$\text{Вывод: } \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}; \quad T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

Выводы:

1. Система совершает гармонические колебания.
2. Свойства системы определяют период собственных незатухающих колебаний ее.

m – масса груза; k – жесткость пружины;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – частота собственных незатухающих колебаний

m
 k
 $\omega_0 = f(m; k)$ } – свойства колеблющейся системы

Энергия гармонических незатухающих
собственных колебаний (индекс 0 отброшен):

$$x = A \cdot \cos \omega t \quad v = -\omega A \cdot \sin \omega t$$

$$E = \Pi + K$$

$$\Pi = \frac{kx^2}{2} = \frac{k(A \cdot \cos \omega t)^2}{2} = \frac{k}{2} A^2 \cdot \cos^2 \omega t$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{m(\omega A \cdot \sin \omega t)^2}{2} = \frac{m}{2} \omega^2 A^2 \cdot \sin^2 \omega t =$$

$$= \frac{k}{2} A^2 \cdot \sin^2 \omega t$$

$$E = \frac{k}{2} A^2 \cdot \cos^2 \omega t + \frac{k}{2} A^2 \cdot \sin^2 \omega t = \frac{k}{2} A^2 = const$$

Реальные колебательные системы:

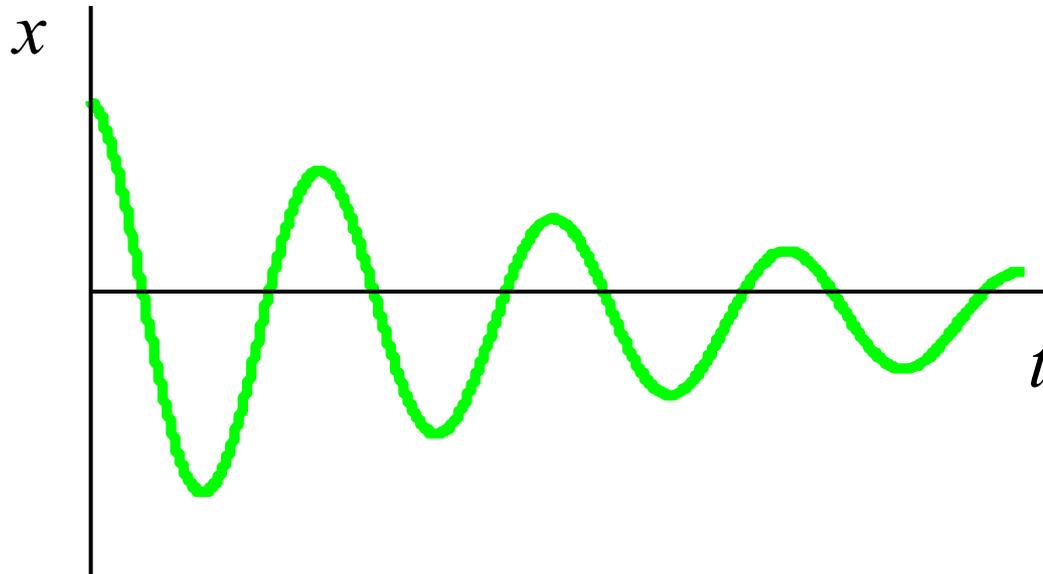
Работа силы сопротивления:

$$A_{F_c} \neq 0$$

Энергия колебательной системы: $E = \frac{k}{2} A^2 \neq const$

$$\underline{E \downarrow \Rightarrow A \downarrow}$$

$$x = A_0 \cdot e^{-\beta \cdot t} \cos(\omega_3 \cdot t + \varphi_0)$$



На реальную колебательную систему действует внешняя гармонически изменяющаяся сила:

$$f(\vartheta) = F_0 \cos f t$$

1. Под действием вынуждающей силы система будет совершать вынужденные гармонические колебания
2. Частота вынужденных колебаний системы равна частоте изменения вынуждающей силы
3. Амплитуда вынужденных колебаний зависит от соотношения между частотами колебания силы и собственной частоты колебаний системы ω_0 и от коэффициента затухания β

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega_f^2)^2 + (2\beta \cdot \omega_f)^2}}$$

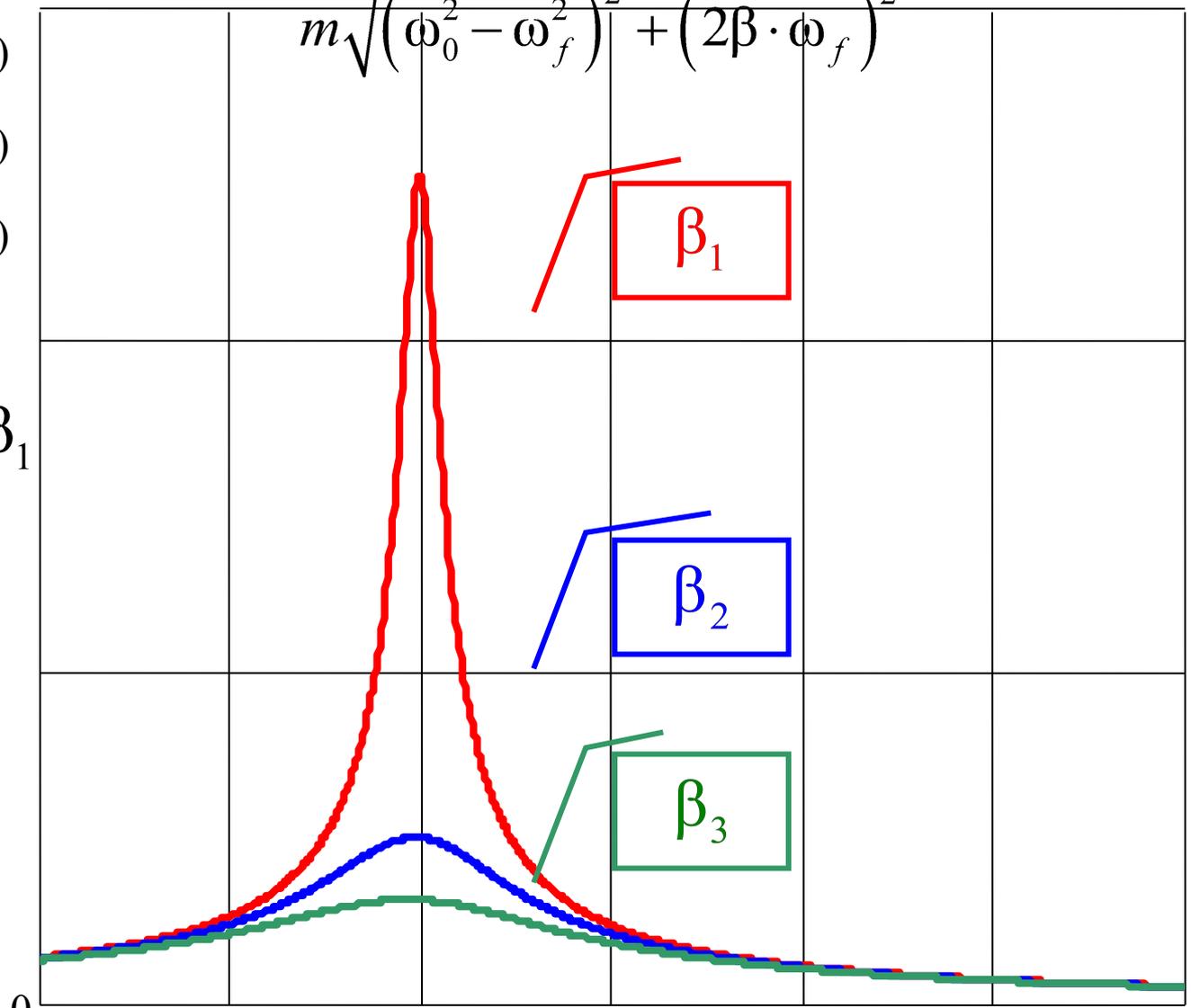
A1(ω)

A2(ω)

A3(ω)



$\beta_3 \boxtimes \beta_2 \boxtimes \beta_1$



0

ω_0

ω

4. $A = A_{\max}$ при условии:

$$\omega_f \rightarrow \omega_0$$

5. Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при стремлении частоты изменения вынуждающей силы к частоте собственных колебаний системы – резонанс (лат. resonare «откликаться»)

Упругая среда

Положение равновесия



На частицу среды, выведенную из состояния равновесия, со стороны остальных частиц действует результирующая упругая сила, возвращающая частицу в исходное положение.

Подобные силы действуют во всех средах: газах, жидкостях, твердых телах.

Газы

Жидкости

Твердые тела

Упр. сила \sim плотности

Источник колебаний – плоскость

$$\xi = A \cos \omega t = A \cos \frac{2\pi}{T} t$$

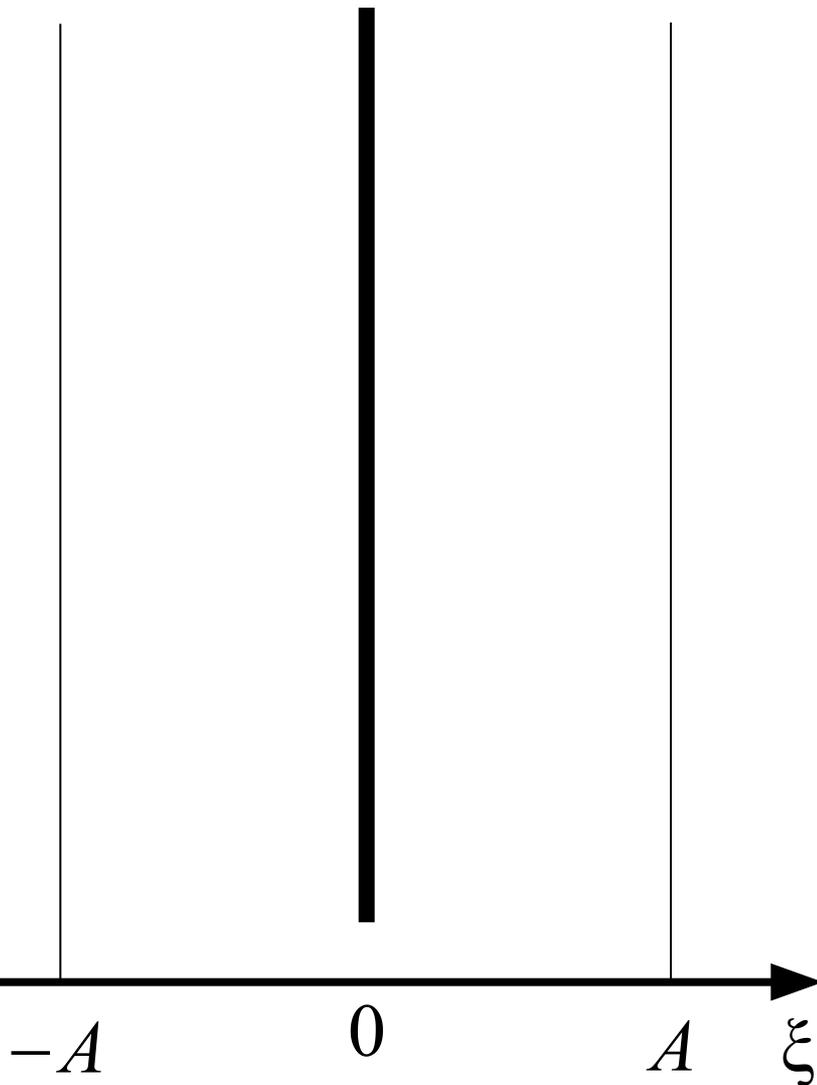
ξ – смещение колеблющейся системы (источника)

относительно положения равновесия);

A – амплитуда колебаний источника;

ω и T – циклическая частота и период колебаний

источника



(КСИ)

Частица *упругой* среды, примыкающая к источнику

\vec{F}_B – переменная вынуждающая сила,
действующая на частицу

Уравнение вынужденных колебаний частицы:

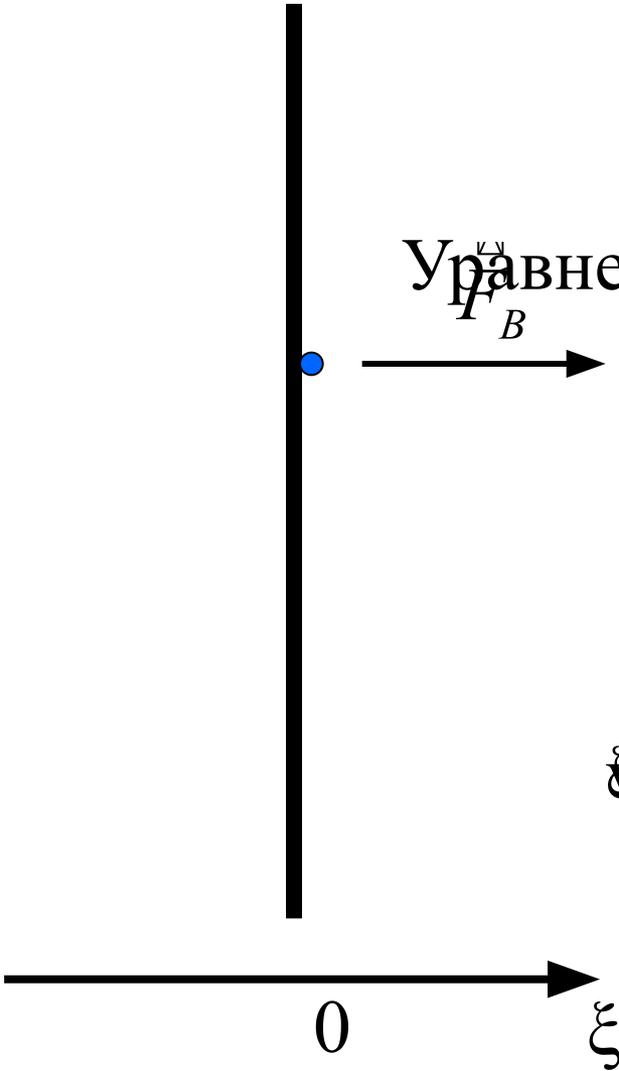
$$\xi = \underline{A \cos \omega t} = A \cos \frac{2\pi}{T} t$$

Мгновенные скорость и ускорение
частицы при ее колебаниях:

$$\dot{\xi}_K = \omega \sin \omega t \quad a_K = \ddot{\xi} = -\omega^2 A \cos \omega t$$

$$\vec{F}_B \leftarrow a_K = -\omega^2 \underline{A \cos \omega t}$$

$$\vec{F}_B \rightarrow -\omega^2 \xi$$

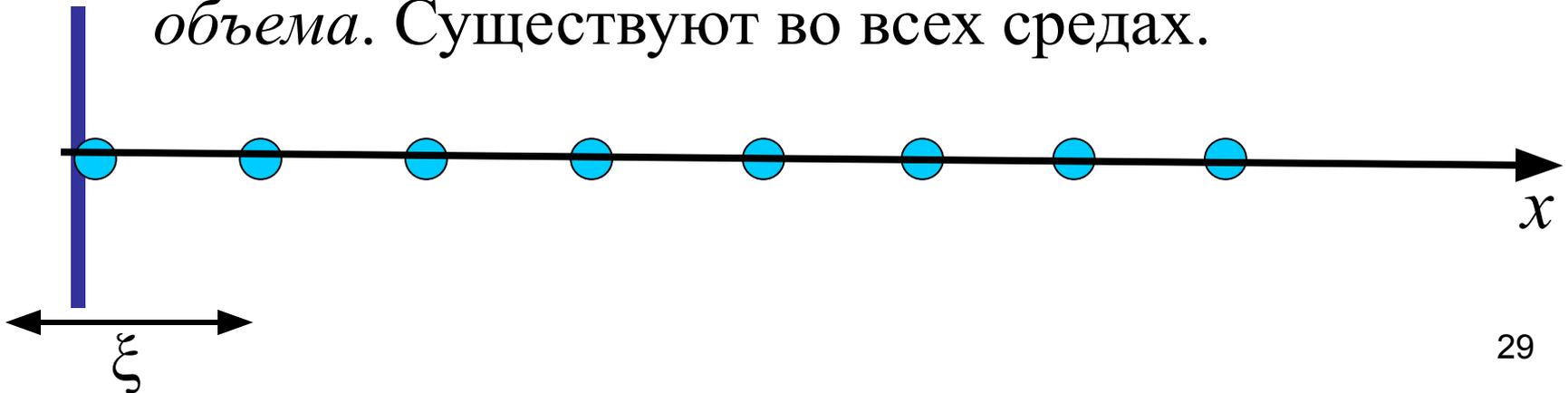


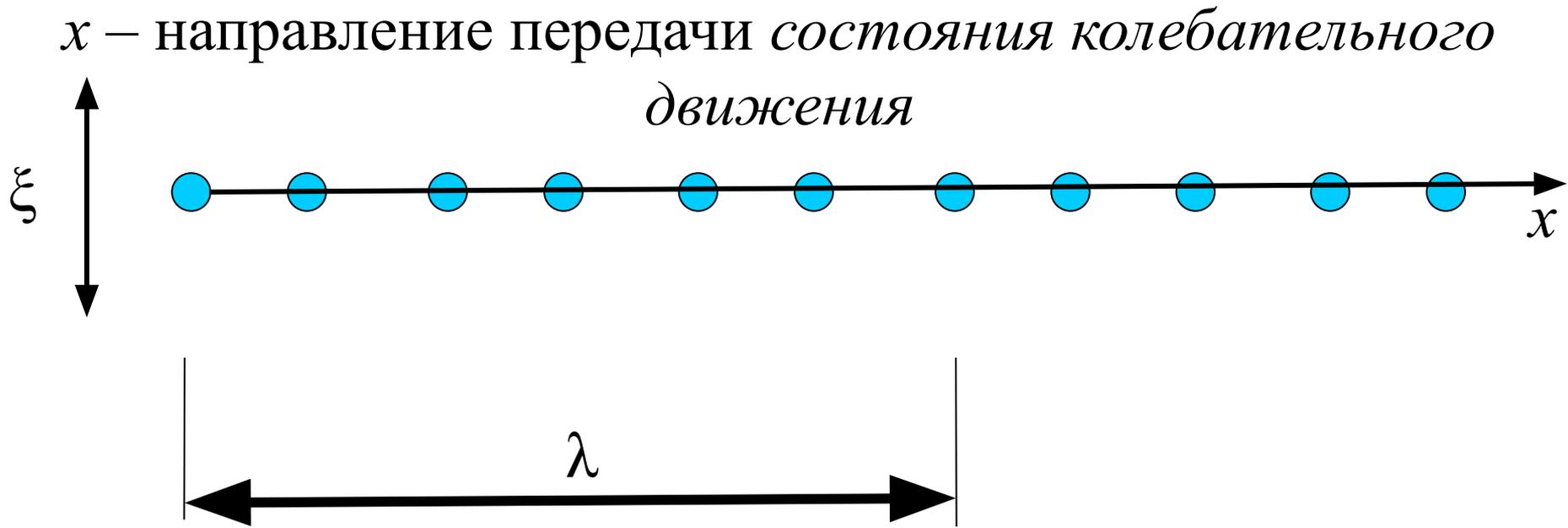
Каждая «предыдущая» частица действует с вынуждающей силой на «последующую».

Процесс передачи *состояния колебательного движения* от частицы к частице – **волновой процесс**, происходит в пространстве и времени.

x – направление передачи *состояния колебательного движения*

$\xi \uparrow \downarrow x \Rightarrow$ волна продольная. Упругие деформации *растяжения – сжатия*, связанные с *сохранением объема*. Существуют во всех средах.





$\xi \perp x \Rightarrow$ волна поперечная. Упругие деформации *сдвига*, связанные с *сохранением формы*. Твердые тела, поверхность жидкости.

λ – длина волны, равная кратчайшему расстоянию между двумя точками среды в направлении распространения волны, колеблющимися одинаково.

Скорость распространения колебаний
(скорость распространения волны):

$$v = f(\underline{\text{свойства упругой среды}})$$

Не путать с $v_K = f(\text{свойства источника})!$

Газы и жидкости:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

K – модуль объемной
упругости вещества тела

$$dp = -K \frac{dV}{V}$$

Твердые тела:

поперечные: $v = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$

продольные: $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

G и E – модули сдвига и
Юнга соответственно

За время одного периода колебаний источника состояние колебательного движения частиц среды передается на расстояние, равное длине волны:

$$\lambda = vT$$

Выводы:

1. Волновой процесс – распространение *состояния колебательного движения* частиц среды *без переноса вещества*.
2. Необходимыми условиями волнового процесса являются наличие источника колебаний и упругой среды.

3. Частицы упругой среды колеблются с тем же периодом, что и источник колебаний:

$$T(\text{или } v, \text{ или } \omega) = f(\text{свойства источника})$$

4. В отсутствие затухания амплитуда, скорость и ускорение колебаний частиц среды равны значениям этих параметров источника колебаний:

$$A = f(\text{свойства источника})$$

$$v_K = f(\text{свойства источника})$$

$$a_K = f(\text{свойства источника})$$

5. Волновой процесс является *периодическим во времени* для каждой отдельной частицы среды и *периодическим в пространстве* для совокупности частиц.

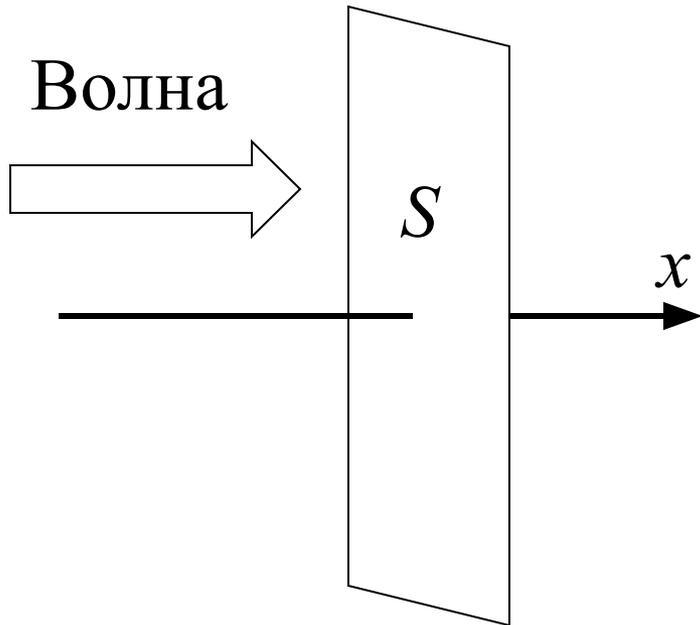
6. Скорость распространения колебаний (скорость распространения волны) определяется свойствами упругой среды:

$$v = f(\underline{\text{свойства упругой среды}})$$

7. Главное свойство волнового движения – *перенос энергии без переноса вещества*: от частицы к частице среды передается лишь *состояние колебательного движения*.

Перенос энергии волнового движения:

x – направление передачи состояния колебательного движения (распространения волны):



За время t через поверхность площадью S переносится энергия волнового движения W .

Поток энергии через поверхность равен энергии, переносимой через нее за единицу времени:

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

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

Интенсивность волны – энергия, переносимая волной через единичную поверхность за единицу времени (плотность потока энергии):

$$I = \frac{W}{St}$$

$$I = \frac{dW}{dSdt}$$

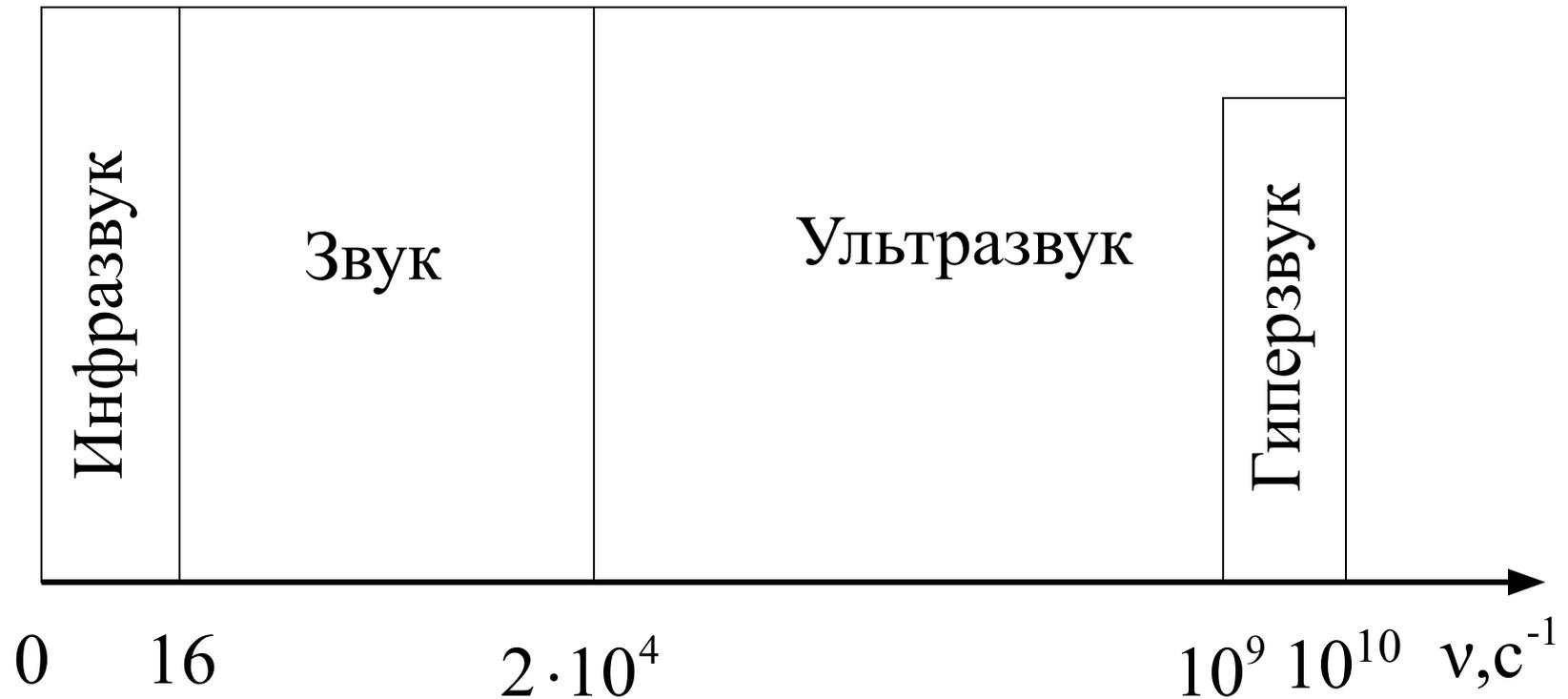
$$I = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 v$$

Зависит как от свойств источника A и ω (управляемых), так и от свойств среды ρ и v (неуправляемых).

Акустика – раздел физики о звуке

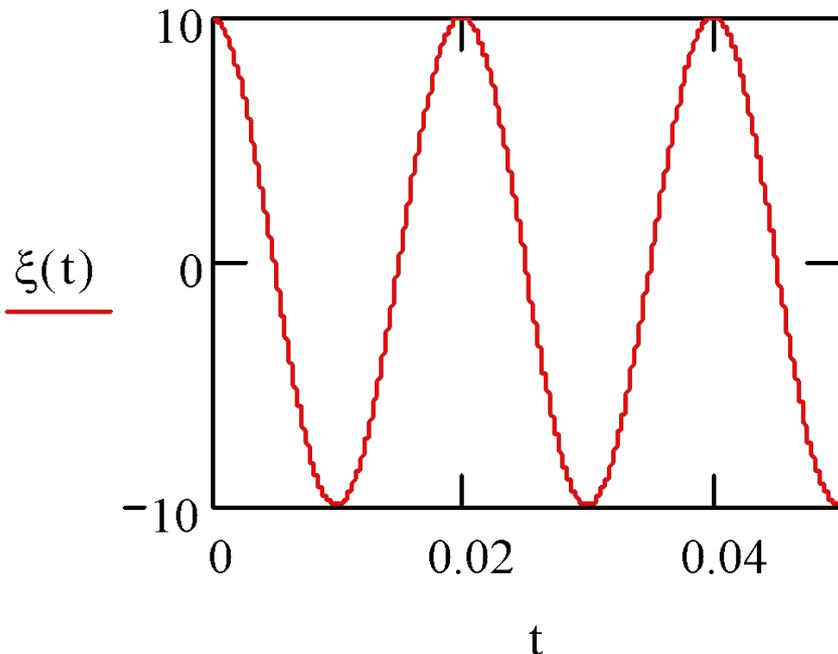
Звук – упругие колебания, воспринимаемые
человеческим ухом

$$\nu = 16 \div 20000 \text{ с}^{-1} \text{ (Гц)}$$

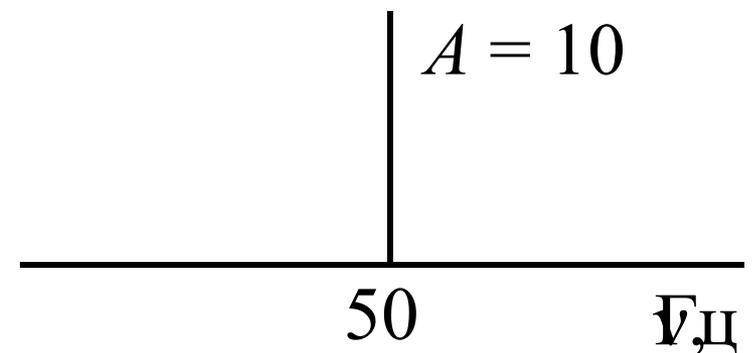


Простой тон – гармоническое колебание,
переносимое звуковой волной единственной частоты

$$\xi(t) := 10 \cdot \cos(314t)$$



Спектр простого тона



Сложный тон – сумма простых тонов с частотами,
кратными частоте основного тона:

$$\xi(t) = \sum_{i=1}^{i=n} A_i \cos(2\pi i \nu_1 t)$$

$$v_1 = 50c^{-1}$$

$$\xi_1(t) := 10 \cdot \cos(314t)$$

ОСНОВНОЙ ТОН

$$v_2 = 100c^{-1}$$

$$\xi_2(t) := 6 \cdot \cos(628t)$$

$$v_3 = 150c^{-1}$$

$$\xi_3(t) := 4 \cdot \cos(942t)$$

$$v_4 = 200c^{-1}$$

$$\xi_4(t) := 5 \cdot \cos(1256t)$$

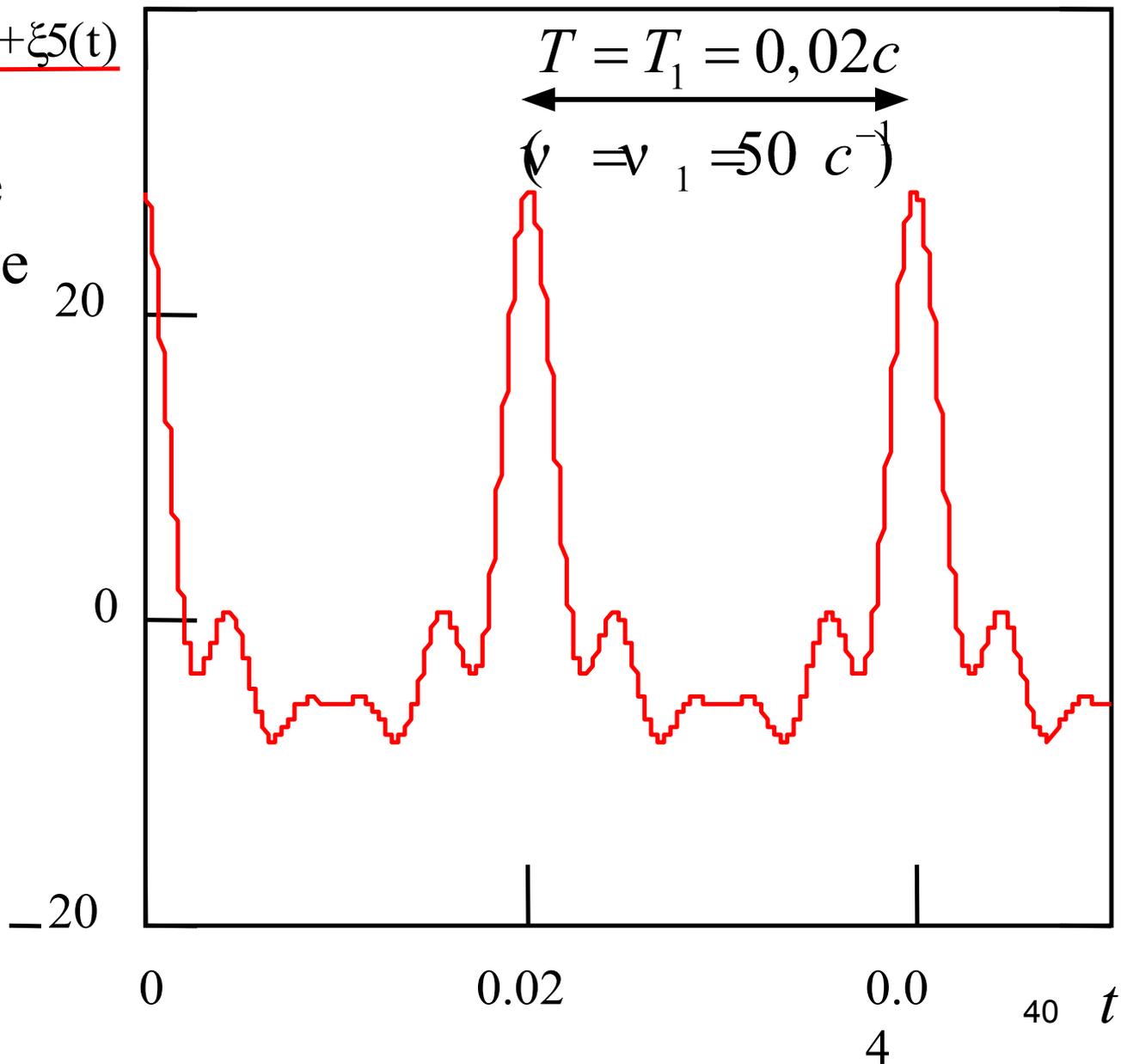
$$v_5 = 250c^{-1}$$

$$\xi_5(t) := 3 \cdot \cos(1570t)$$

Обертоны

$\xi_1(t) + \xi_2(t) + \xi_3(t) + \xi_4(t) + \xi_5(t)$

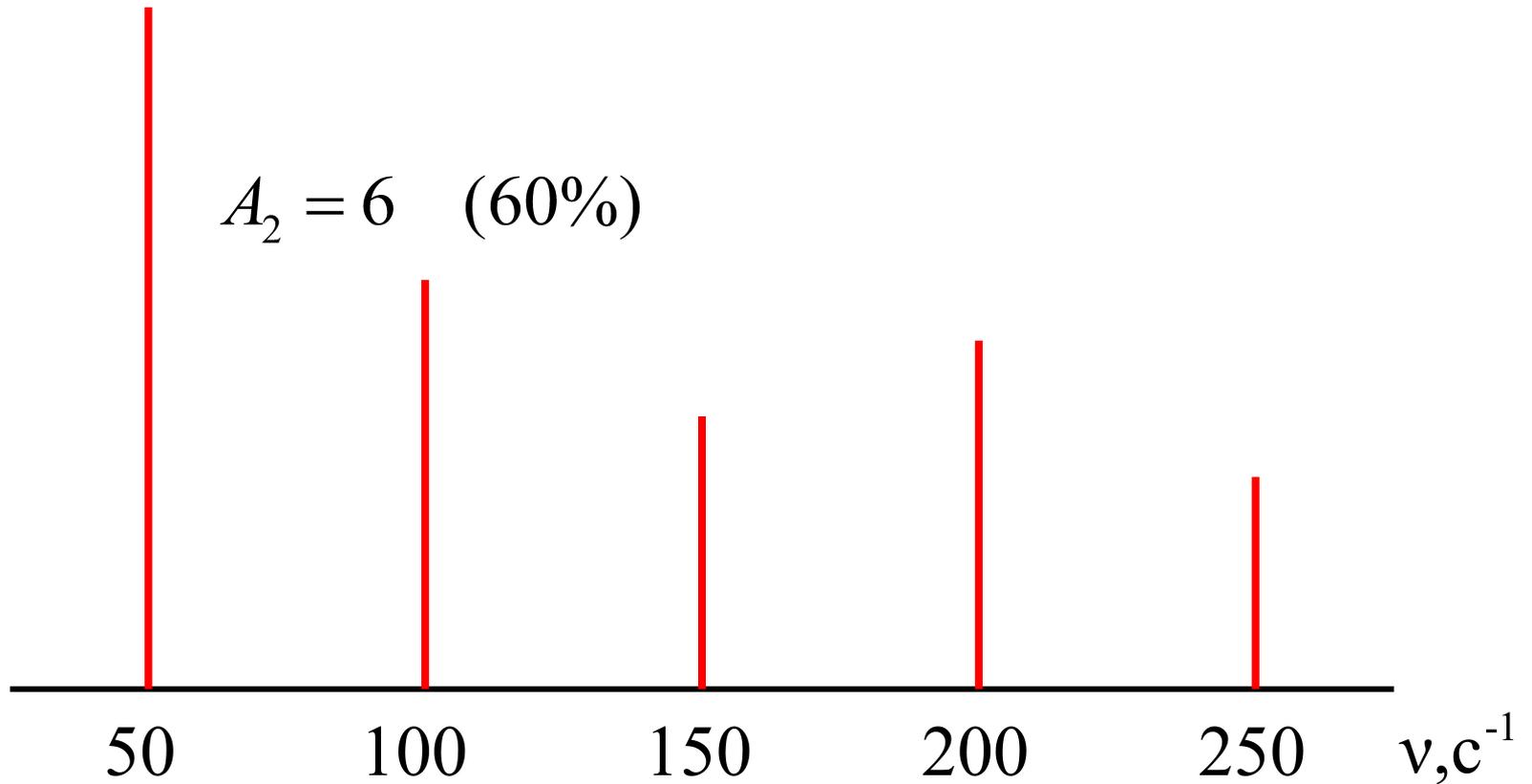
Периодическое
негармоническое
колебание

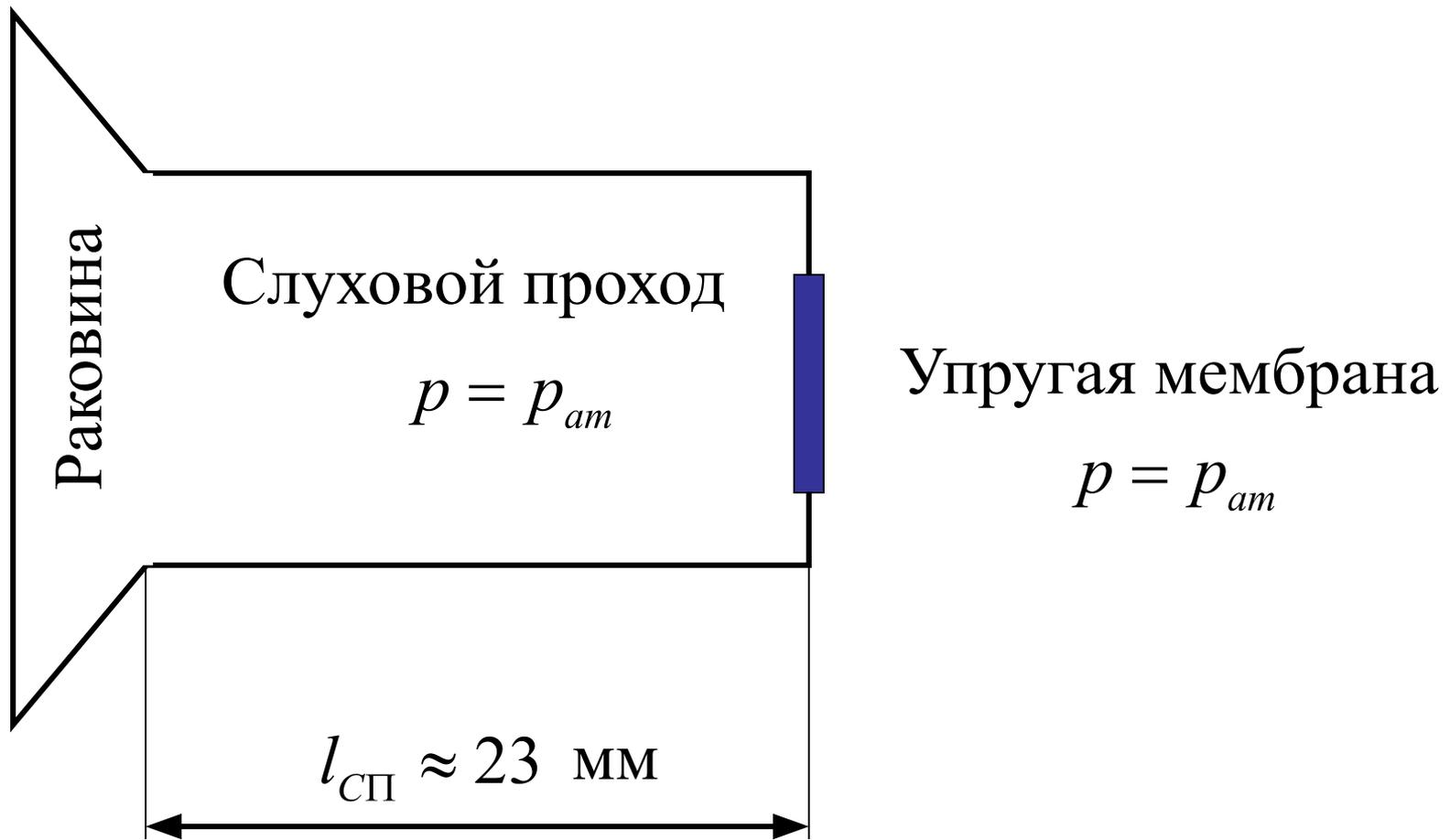


Спектр сложного тона линейчатый

$A_1 = 10$ (100%)

$A_2 = 6$ (60%)





Мера воздействия на упругую мембрану –
избыточное звуковое давление $p_{зв}$

Следствие – деформация мембраны

Возникновение *избыточного над атмосферным* звукового давления связано с пространственным и временным чередованием областей повышенной и пониженной концентрации частиц среды при распространении в среде звуковой волны.

$$p(t) = n(t)kT$$

$$p_{зв}(t) = v \cdot (\cdot)_K t$$

$$\xi_K = \omega \sin \alpha t$$

То же уравнение в виде связи причина → следствие:

Следствие

$$v_K = \frac{P_{3B}}{\rho \cdot v}$$

Причина

Свойство

$$R_{AK} = \rho v$$

Акустическое сопротивление – новое свойство среды

$$[R_{AK}] = [\rho][v] = \frac{кг}{м^3} \frac{м}{с} = \frac{кг}{м^2 с}$$

Амплитуда звукового давления:

$$P_{\max 3B} = \rho \cdot v \cdot v_{\max K}$$

$$\xi_K = \omega \sin \omega t$$

$$v_{\max K} = A$$

$$P_{\max 3B} = p = \rho \omega A v$$

Объективные характеристики звуковых волн:

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

$$p = \rho \omega A v$$

Порог слышимости (1000 Гц):

$$I_0 = 10^{-12} \frac{Вт}{м^2}$$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} Па$$

Порог болевого ощущения:

$$I_{\max} = 10 \frac{Вт}{м^2}$$

$$p_{\max} = 60 Па$$

$$\frac{I_{\max}}{I_0} = 10^{13}$$

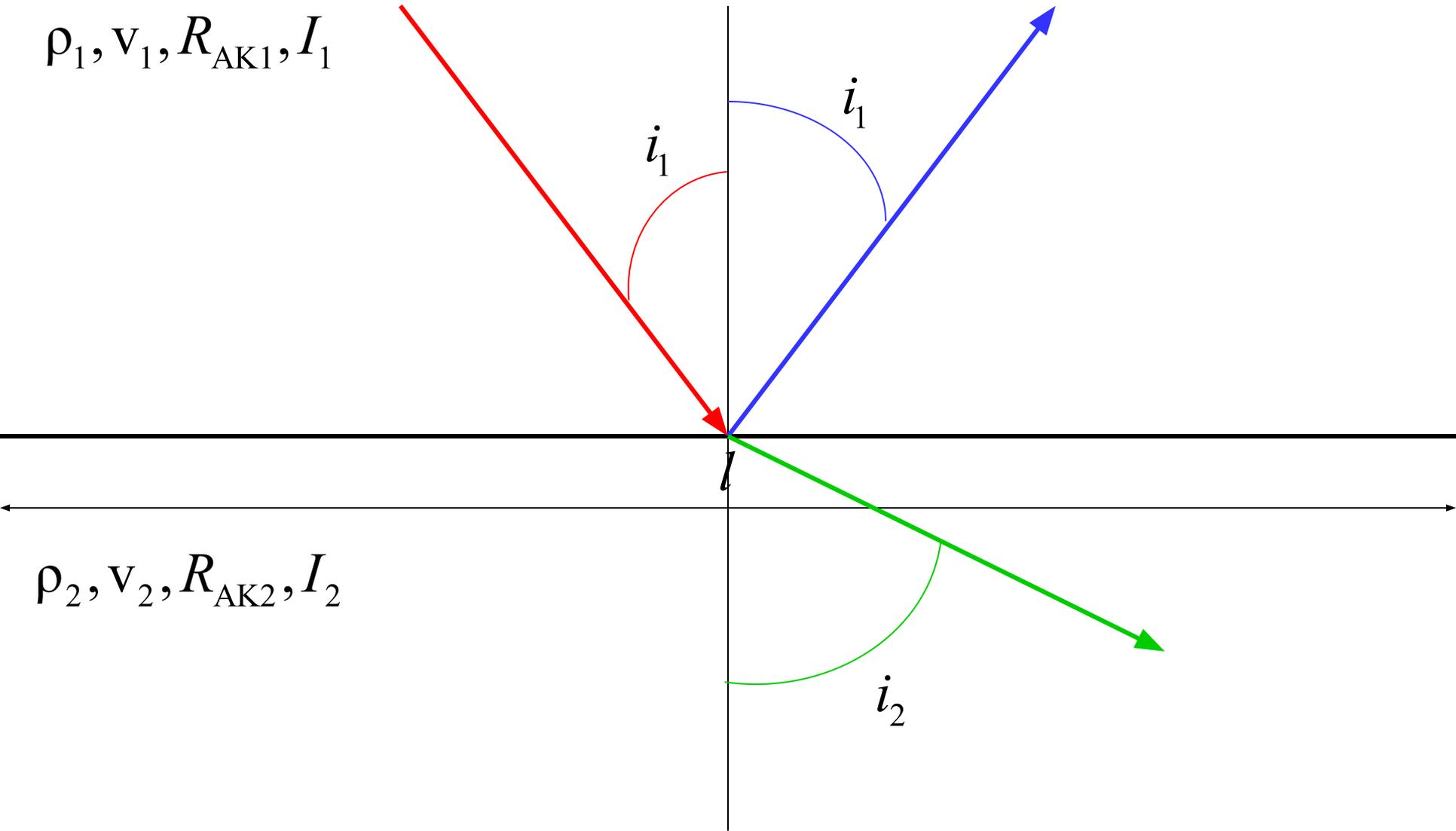
Безразмерная логарифмическая шкала интенсивности звука

$$B_B = \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = 2 \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad [L_B] =$$

$$B_{\partial B} = 10 \cdot \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad [L_{\partial B}] = \partial$$

Среда 1 $\lambda \ll l$ Модель лучей

$\rho_1, v_1, R_{AK1}, I_1$



$\rho_2, v_2, R_{AK2}, I_2$

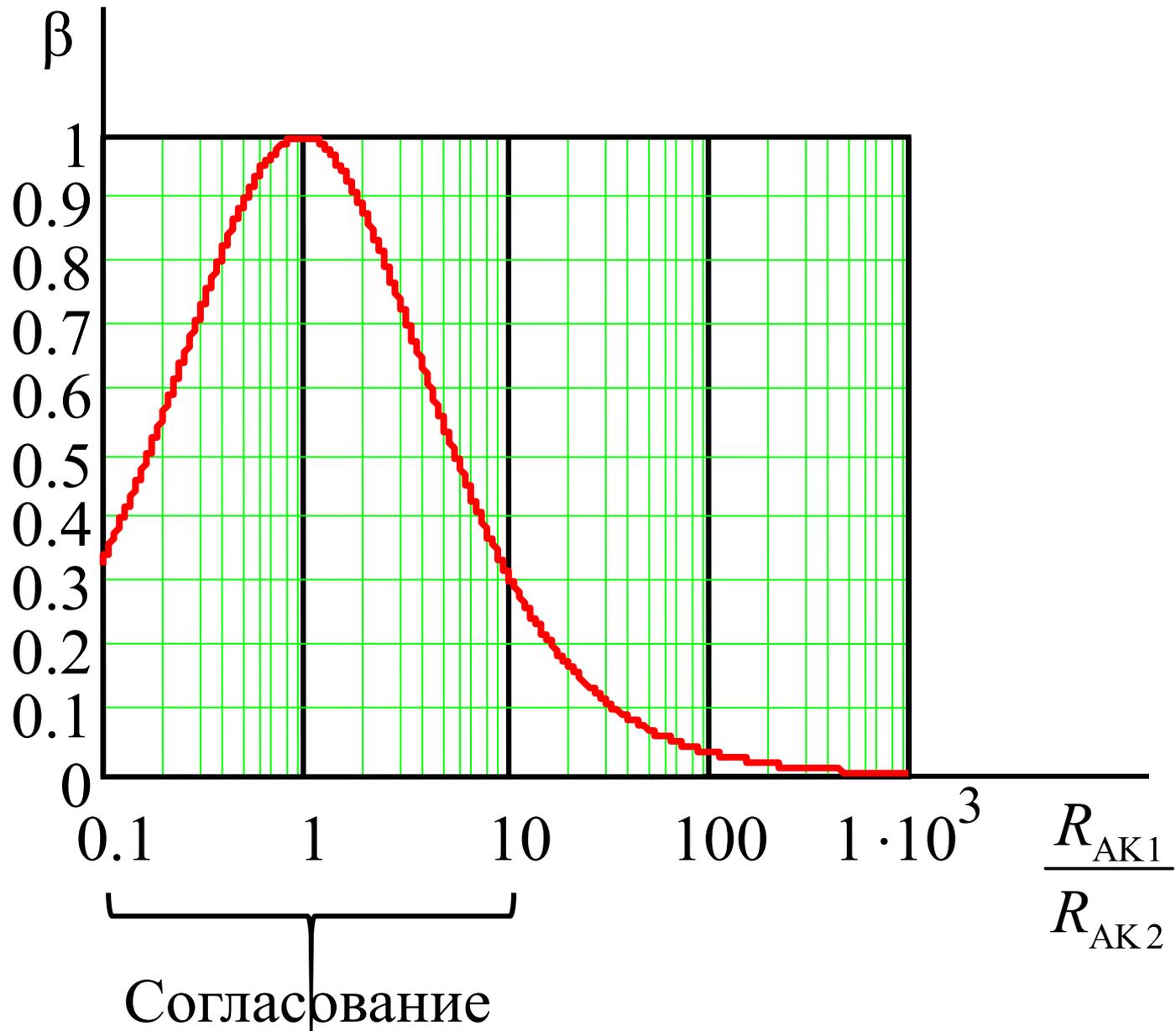
Среда 2

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \beta \text{ — коэффициент проникновения}$$

Коэффициент отражения: $r = \beta$ —

$$\beta = 4 \frac{\frac{R_{AK1}}{R_{AK2}}}{\left(\frac{R_{AK1}}{R_{AK2}} + 1 \right)^2}$$

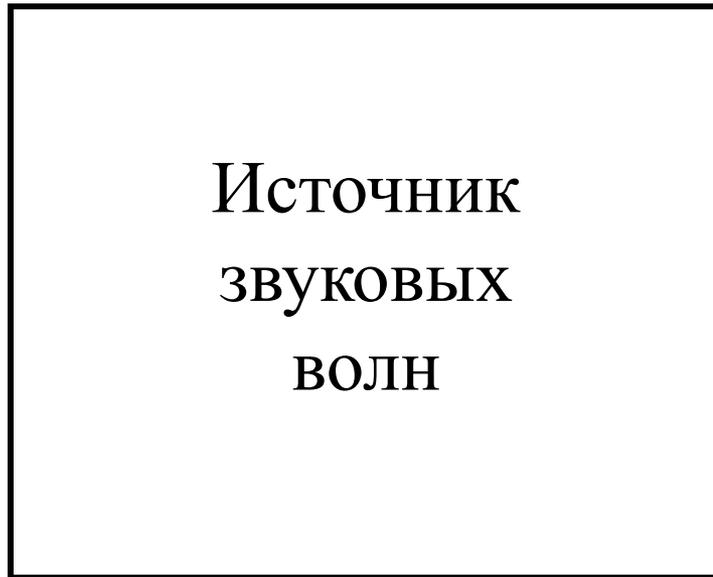


Воздух: $R_{AK1} = \rho_1 v_1 = 1,3 \cdot 330 \approx 430$

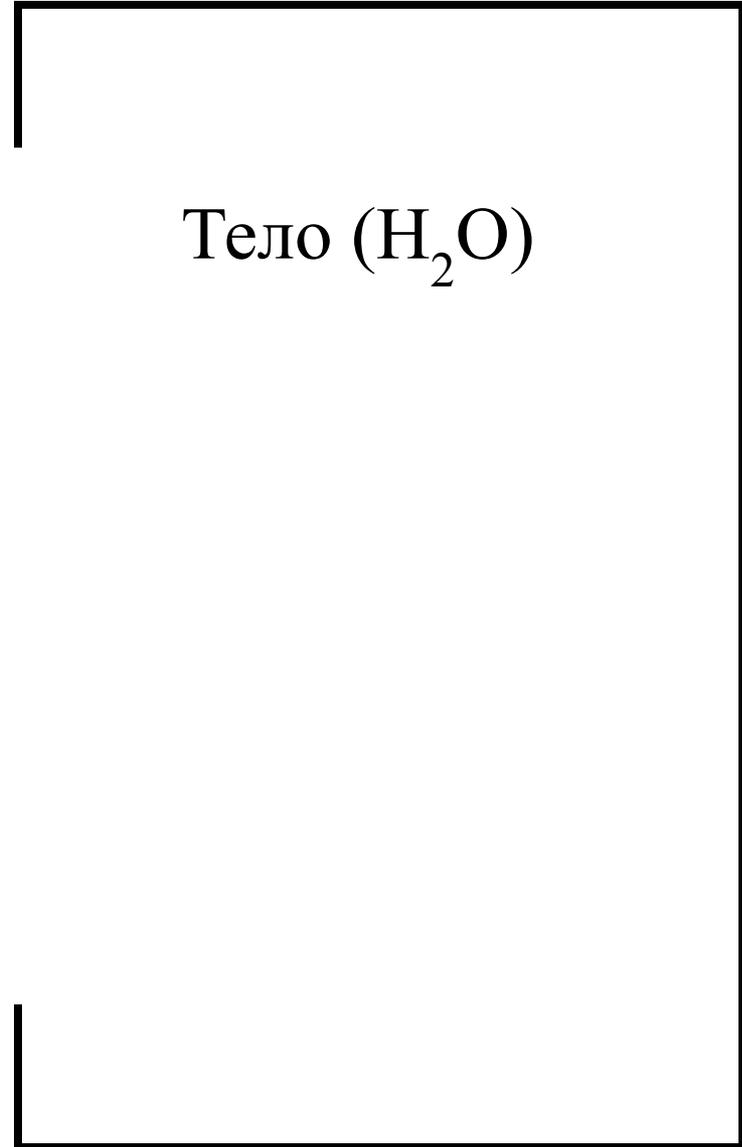
Вода: $R_{AK2} = \rho_2 v_2 = 1000 \cdot 1430 \approx 1430000$

$$\beta = 1,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = 1,2 \cdot 10^{-3}$$
$$\beta \approx 1,2 \cdot 10^{-3}$$



СЛОЙ СОГЛАСОВАТЕЛЯ



Субъективная оценка звукового ощущения

$$\text{Высота тона} = f(v_1, (I^{-1}))$$

$$\text{Тембр} = f(\text{спектральный состав})$$

Громкость E – оценка уровня слухового ощущения

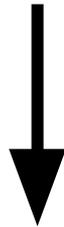
Геометрическая
прогрессия

$$x; x^2; x^3; x^4; x^5 \dots$$

Арифметическая
прогрессия

$$y; 2y; 3y; 4y; 5y \dots$$

Объективное воздействие x



Ощущение воздействия $y = f(x)$

Психофизический закон Вебера – Фехнера

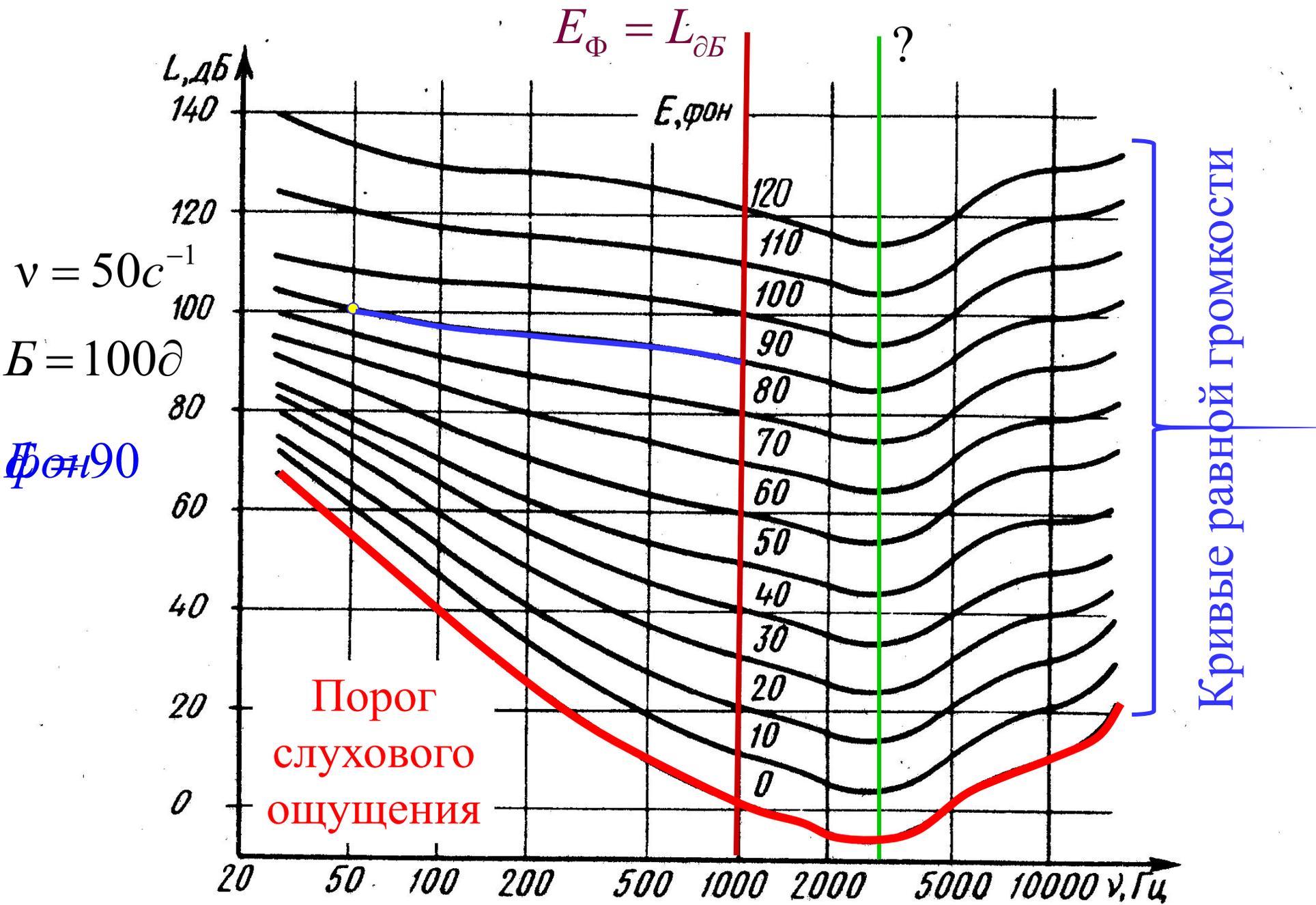
Объективное воздействие I или p



Ощущение воздействия $E = f(I, \nu)$

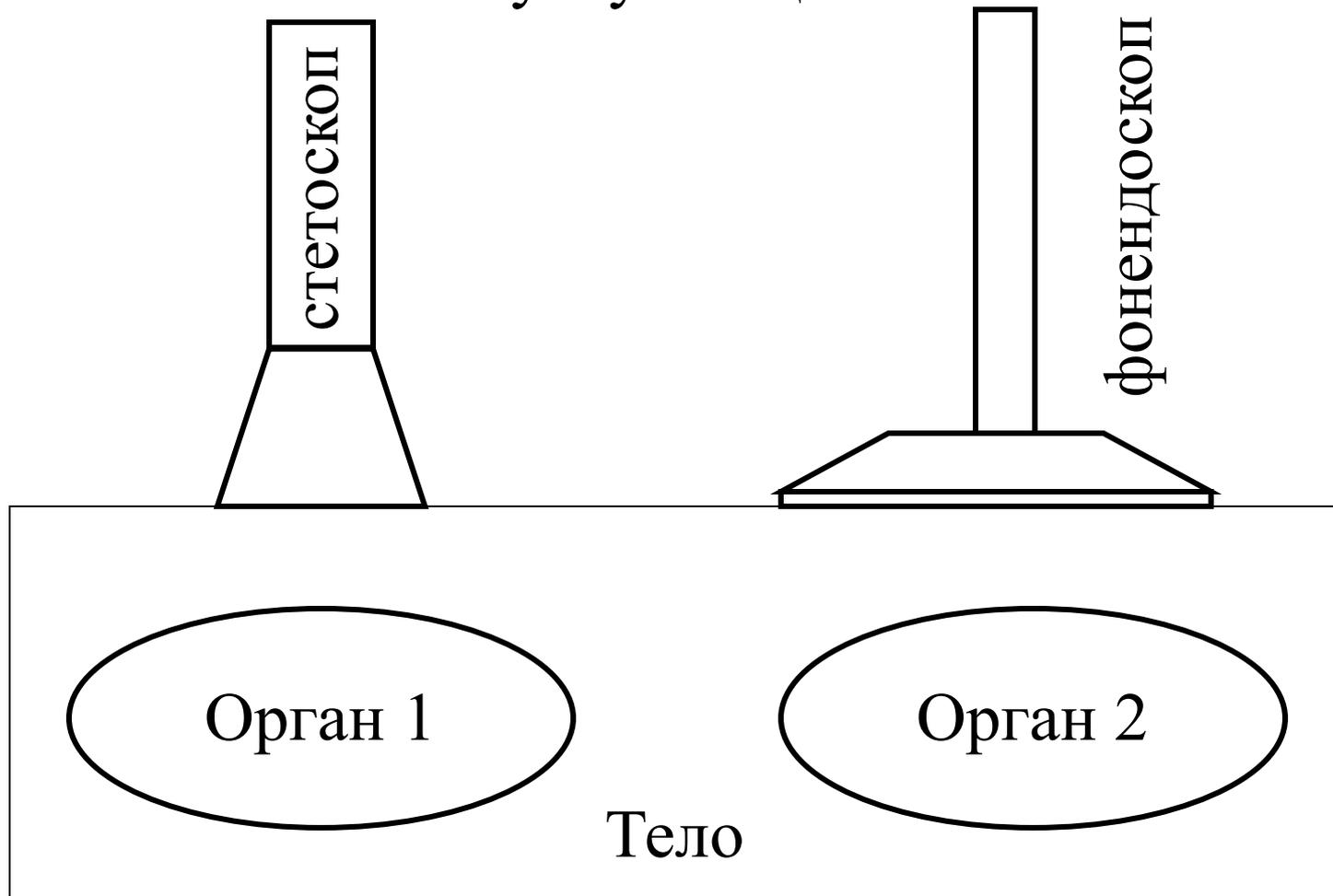
$$E_{\Phi} = k(\nu; \delta) 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) = \kappa(\nu; \delta) \cdot L_{\partial B}$$

$$[\Phi_{\Phi}]_{\delta} =$$

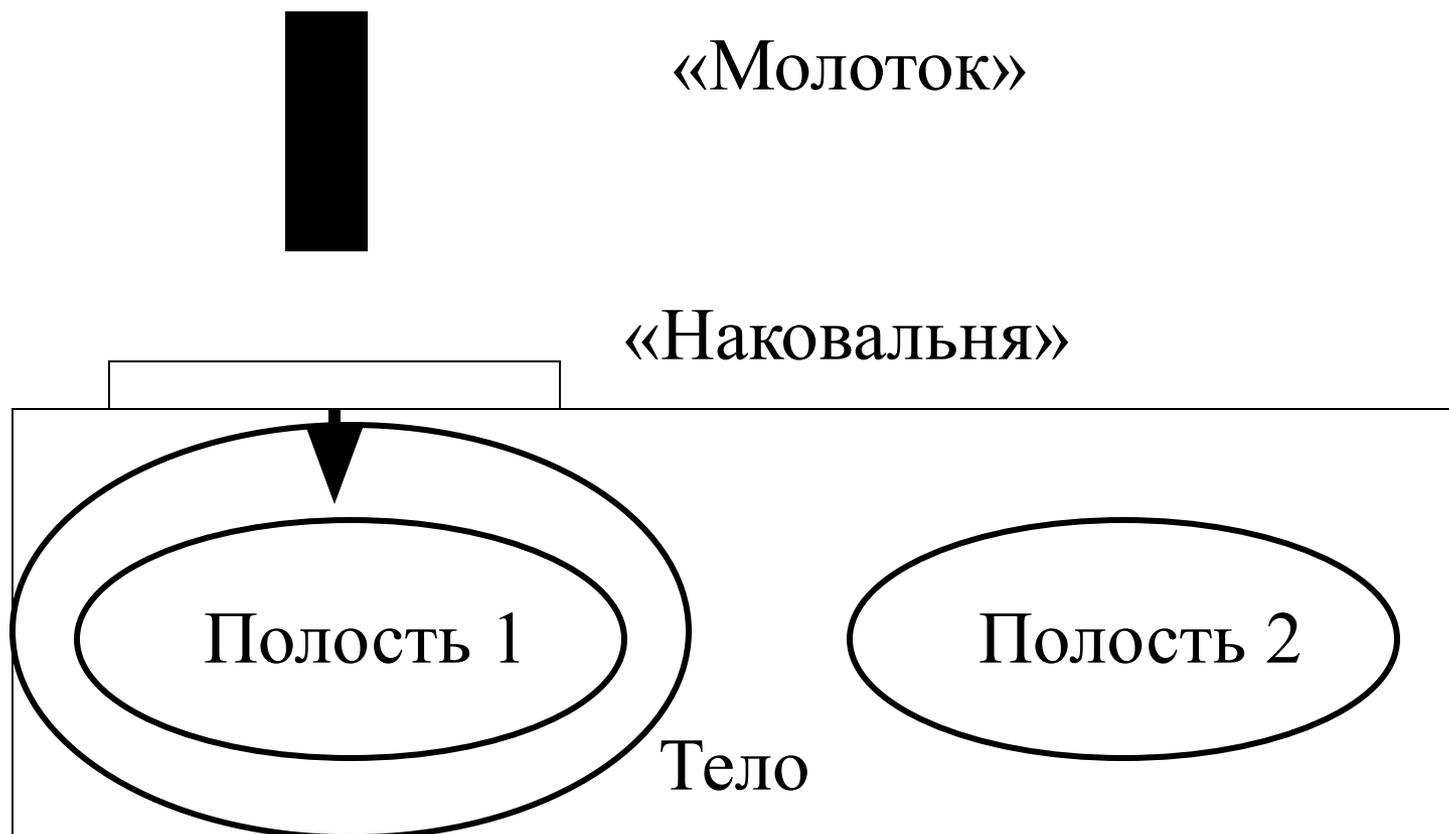


Звук – источник медицинской информации

Аускультация



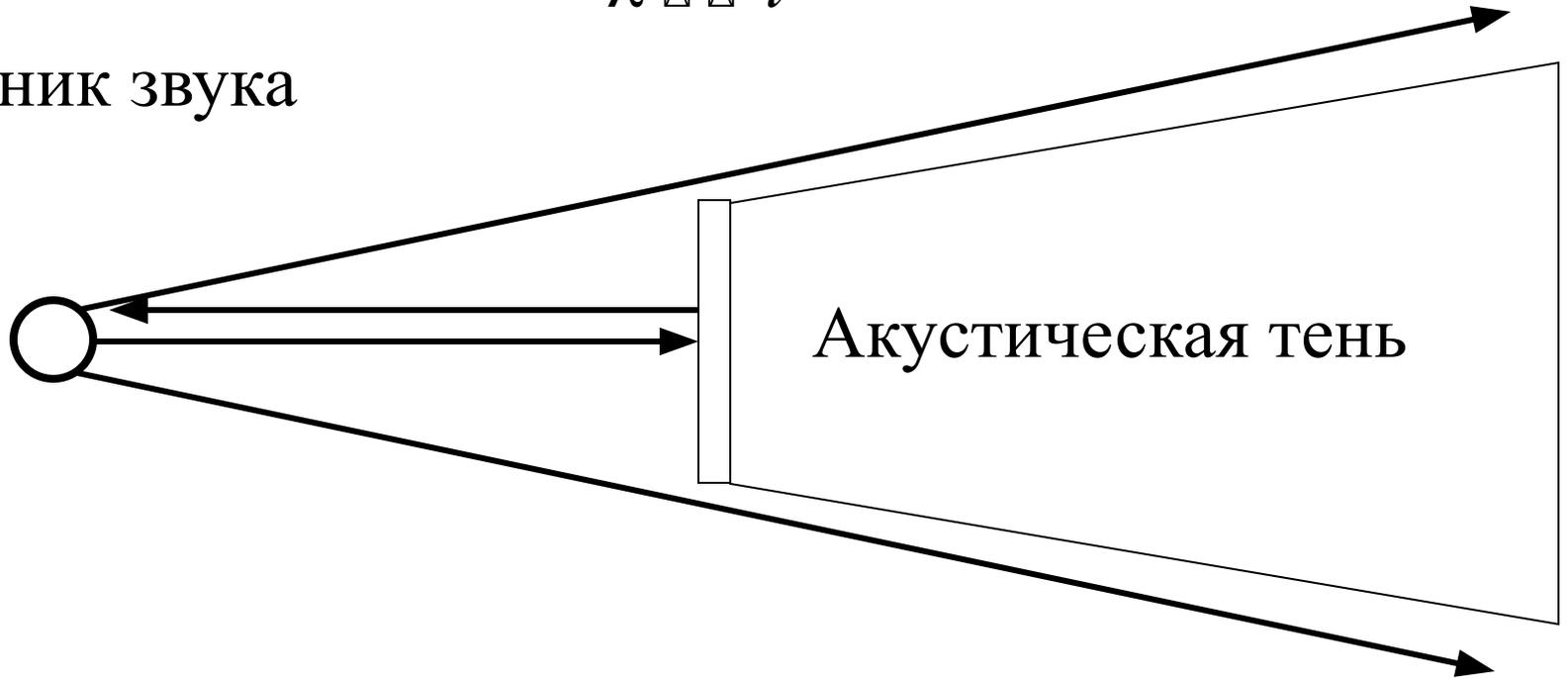
Перкуссия

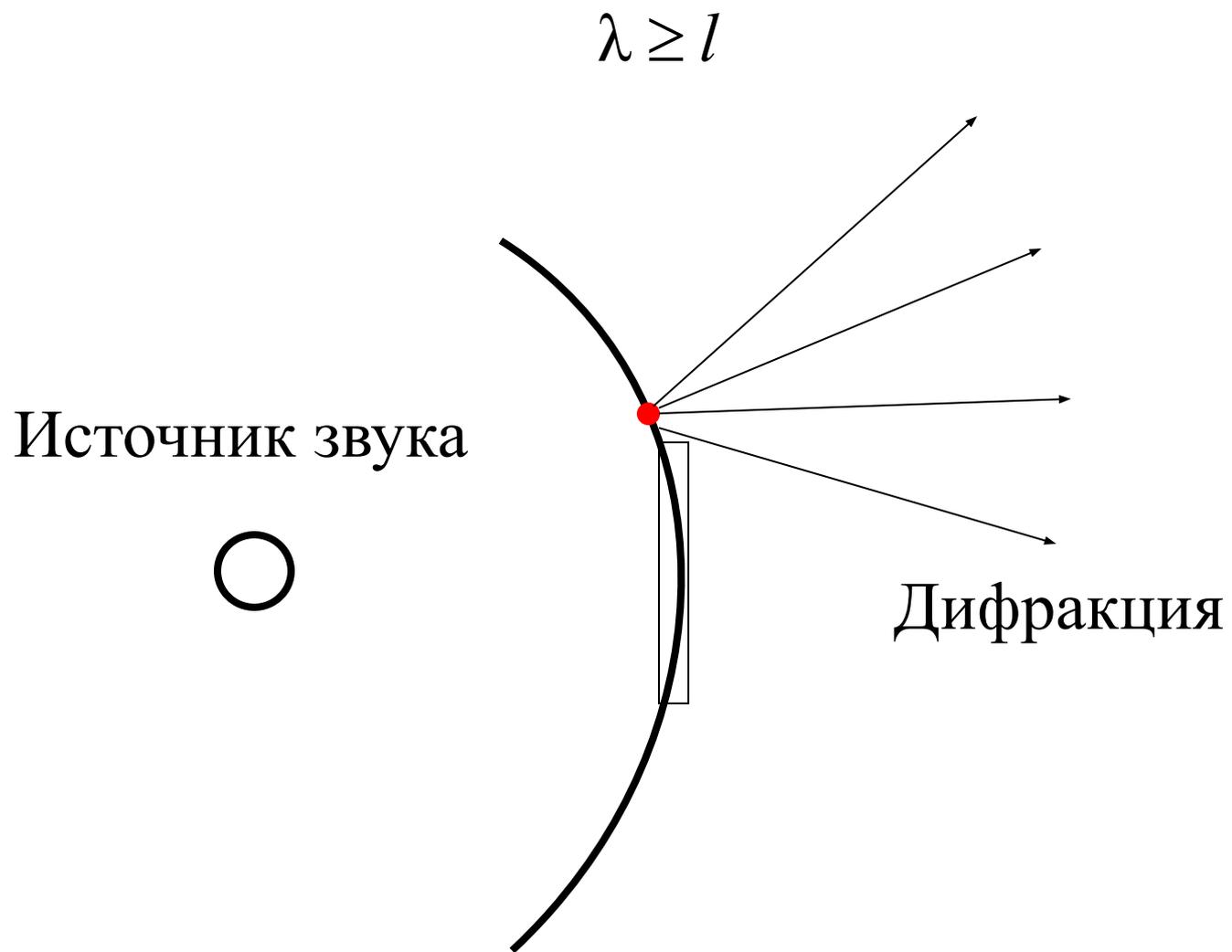


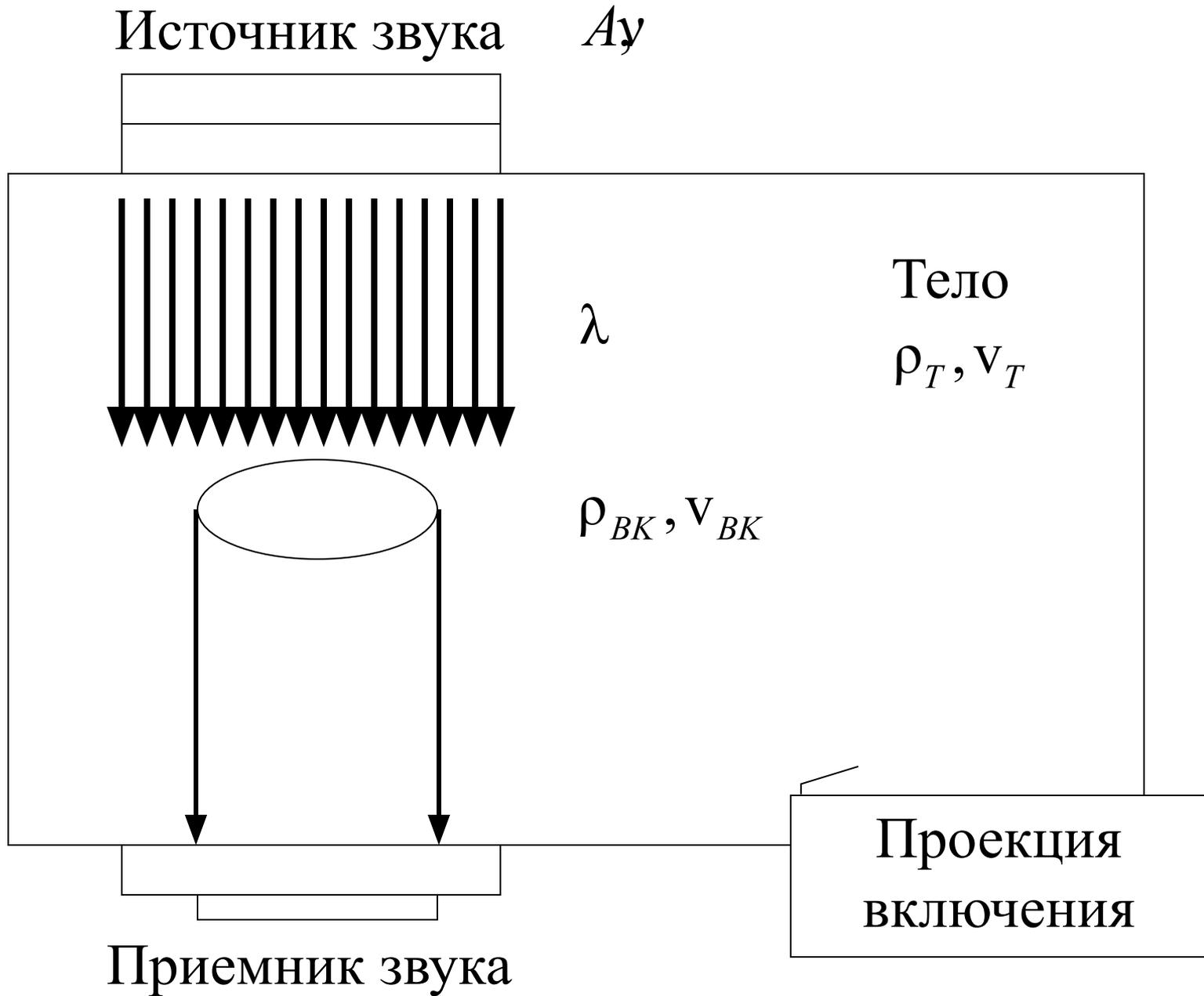
Воздух: 2 см – 20 м

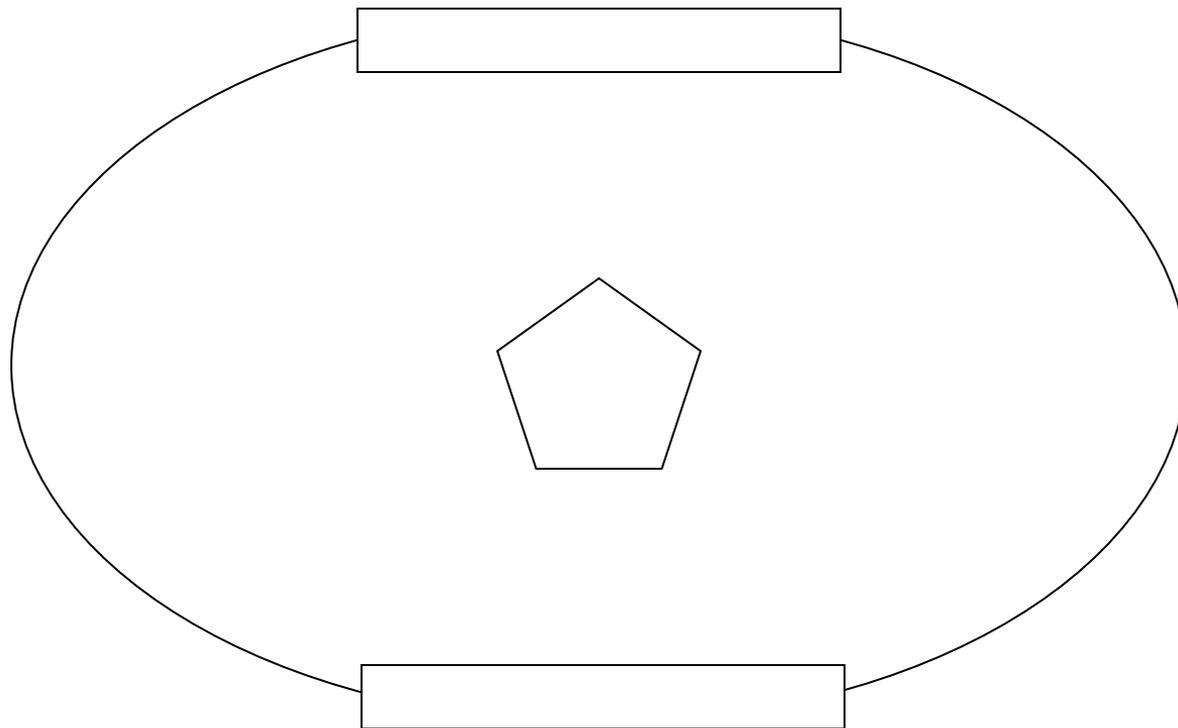
$$\lambda \ll l$$

Источник звука



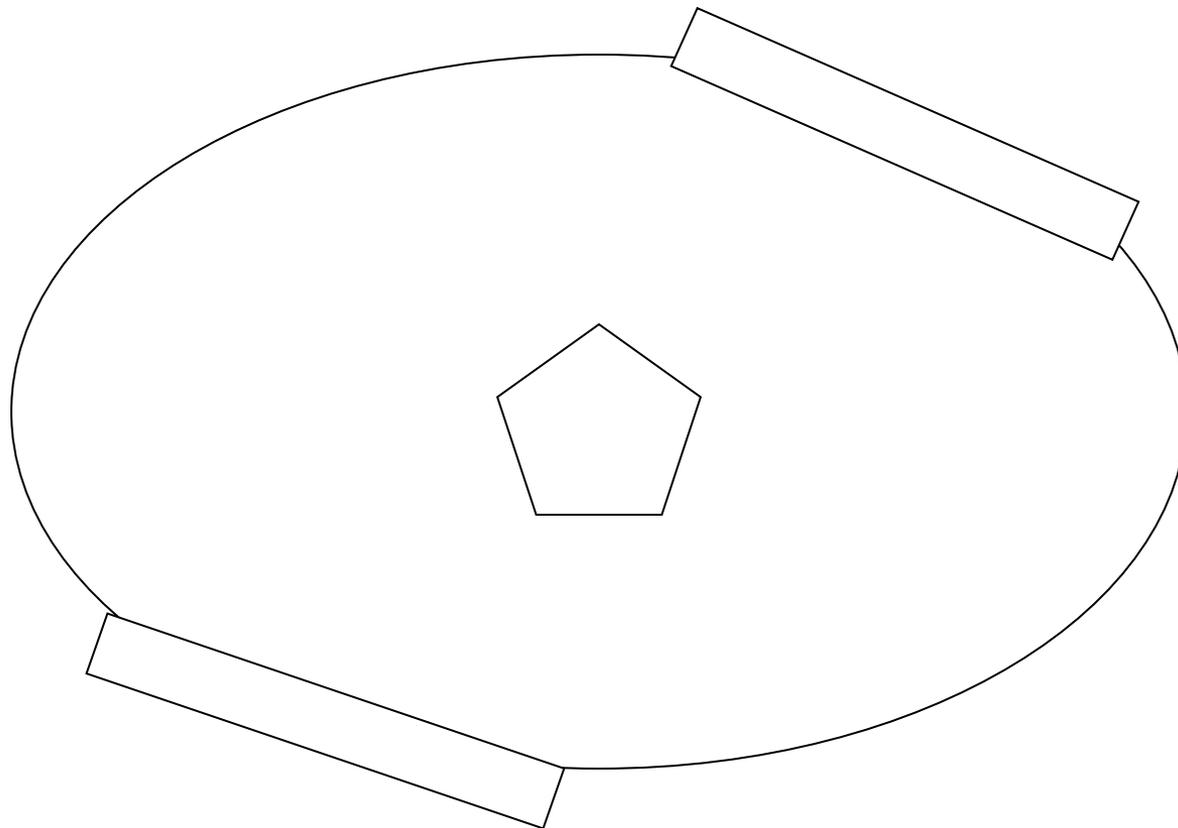






Проекция 1

Сумма проекций = объемное представление



Проекция 2

Основное требование к проекции – четкость
(отсутствие дифракции)

$$l \gg \lambda$$

Оценка

Звуковые волны: $\nu \approx 20 \text{ Гц} - 20 \text{ кГц}$

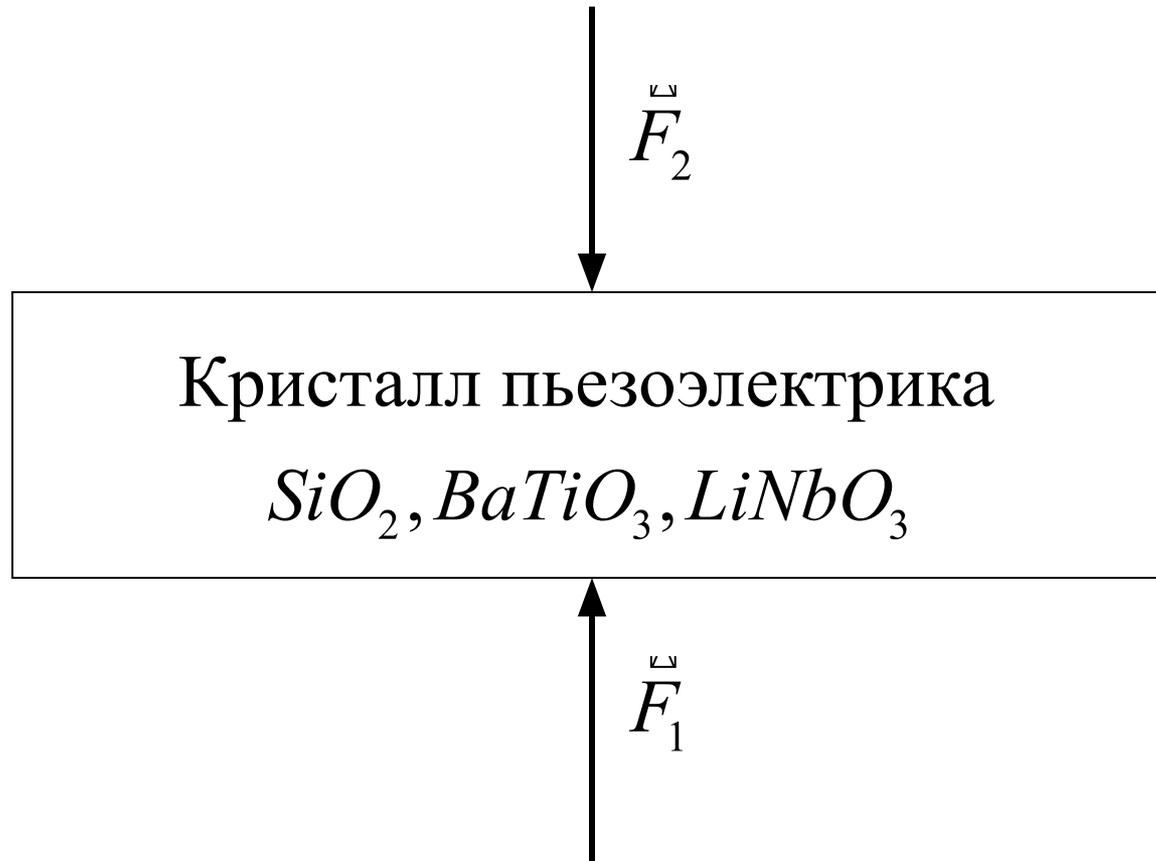
В воздухе: $\lambda \approx 20 \text{ мм} - 20 \text{ м}$

В воде: $\lambda \approx 5 \text{ мм} - 5 \text{ м}$

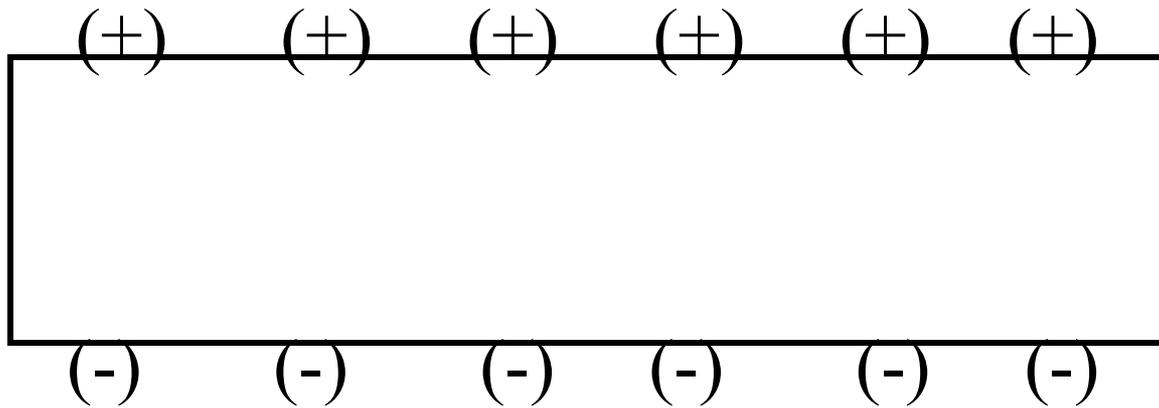
$$\lambda = \nu T = \frac{\nu}{\nu}$$

Переход в область ультразвука

Электромеханические излучатели



Прямой пьезоэффект



$$u = U_0 \cos 2 \pi \nu t$$



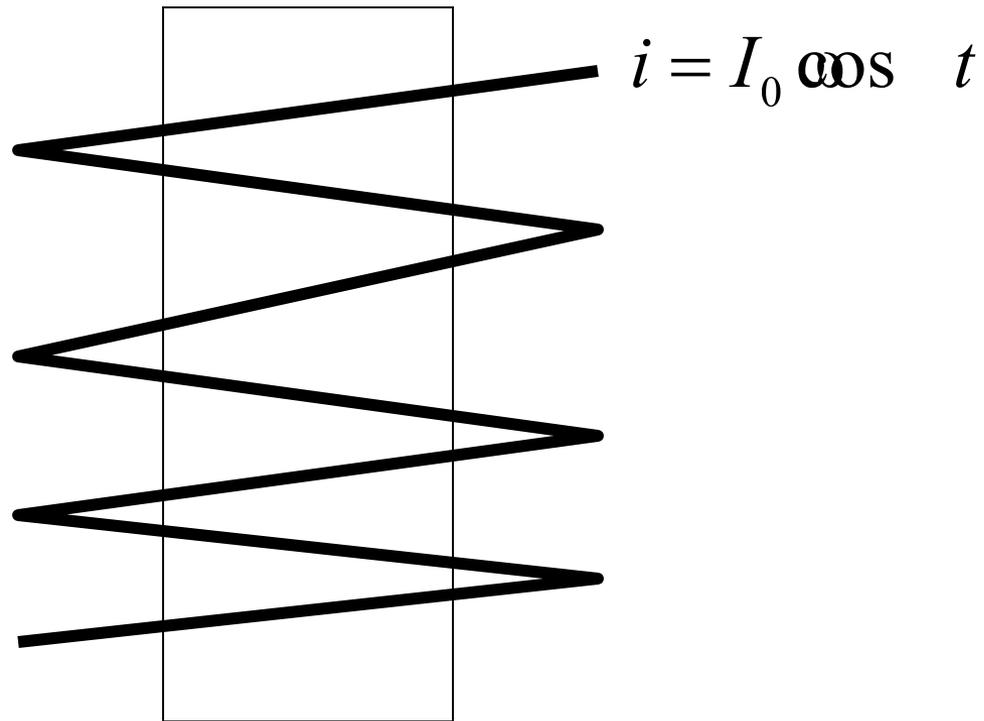
Обратный пьезоэффект

Генерируются ультразвуковые колебания
высокой частоты и малой амплитуды

$$I = \frac{1}{2} \rho A^2 (2\pi\nu)^2 v$$

Магнитострикция

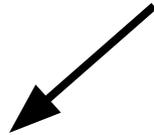
Ферромагнетик в \sim магнитном поле



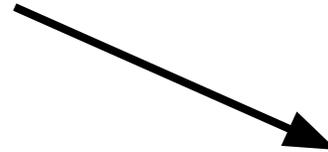
Невысокая частота, значительная амплитуда

Применение УЗ:

1. УЗ – локация



Проходящий УЗ
(УЗ тень)



Отраженный УЗ
(различное отражение
и поглощение)

2. Физическое воздействие

Микровибрации на микрообъектах

3. Доплер – диагностика

Эффект Доплера – изменение частоты волн, регистрируемых приемником, вследствие относительного движения источника и приемника

$$v_p = \frac{v \pm v_{\text{п}}}{v \mp v_s} v$$

Удаление ← → Сближение

v – частота УЗ, генерируемого источником S ;

v_p – частота УЗ, регистрируемого приемником П ;

v – скорость УЗ в данной среде;

$v_{\text{п}}$ – скорость приемника относительно источника;

v_s – скорость источника относительно приемника

Общие выводы:

1. Колебательные и волновые процессы имеют схожее математическое описание независимо от природы процессов и происходят в большинстве отделов человеческого организма.
2. Звуковые и ультразвуковые методы исследования и воздействия имеют широкое применение в медицине.