

# Строительная акустика

Преподаватель  
Соколов Александр  
Николаевич

[В начало](#) >
 [Ка](#) >
 [Стр](#) >
 [Стр. физ.](#)

Режим редактирования

## НАВИГАЦИЯ



- В начало
- Моя домашняя страница
- moodle
- Текущий курс
  - Стр. физ.**
    - Участники
    - Значки
    - Общее
    - Методические пособия и нормативные документы
    - Курсовая работа
    - Тема 3
    - Тема 4
    - Тема 5
    - Тема 6
    - Тема 7
    - Тема 8
    - Тема 9
    - Тема 10
- Мои курсы

## НАСТРОЙКИ



- Управление курсом
  - Режим редактирования
  - Редактировать настройки
- Пользователи
- Фильтры
- Отчеты
- Оценки

# Соколов. Строительная физика.



## Общий форум курса

Главные новости и объявления, а так же разговор с преподавателем.



## Информация о преподавателе

## Методические пособия и нормативные документы

Электронный вариант методических пособий по Теплофизике, Акустике и Светотехнике, а так же нормативные документы по Теплотехнике и Акустике.



МП по Теплофизике



МП по Акустике



МП по Светотехнике



СНиПы по Теплофизике



СНИП по Акустике



Энергетический паспорт

## Курсовая работа

Проверка и оценивание курсовых работ по строительной теплофизике

## ПОИСК ПО ФОРУМАМ




Применить

Расширенный поиск ?

## ПОСЛЕДНИЕ НОВОСТИ



Добавить новую тему...

Разговор с преподавателем

24 Фев 10:26 Соколов Александр Николаевич

Журнал разработки курса

24 Сен 14:54 Соколов Александр Николаевич

Старые темы ...

## ПРЕДСТОЯЩИЕ СОБЫТИЯ



Нет предстоящих событий

Перейти к календарю...

Новое событие...

## ПОСЛЕДНИЕ ДЕЙСТВИЯ



Действия с Суббота, 3 Сентябрь 2016, 09:10

Полный отчет о последних действиях  
Со времени Вашего последнего входа  
ничего не произошло

# 1 Лекция - тезисы

- Основные понятия
- Звуковые волны
- Спектры
- Звуковое давление
- Интенсивность звука

# Литература

1. *Архитектурная физика* / Под ред Н.В. Оболенского. – М.: Стройиздат, 1997. – 448 с. [с. 287 - Архитектурная акустика]
2. *Ковригин С.Д.* Архитектурно-строительная акустика. – М.: Высш. шк., 1980. – 184 с.

# Нормативные документы

- СНИП 23-03-2003  
«Защита от шума»
- СП 23-103-2003  
«Проектирование звукоизоляции  
ограждающих конструкций жилых и  
общественных зданий»

# Архитектурно-строительная акустика

- Основной задачей архитектурной акустики является исследование условий, определяющих слышимость звука и музыки в помещениях, и разработка архитектурных планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих оптимальные условия слухового восприятия.
- А так же, подавление шума (обеспечение звукоизоляции и шумозащиты)

# Свободные (собственные) колебания

Совершаются за счёт первоначально сообщённой энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на систему, совершающую колебания

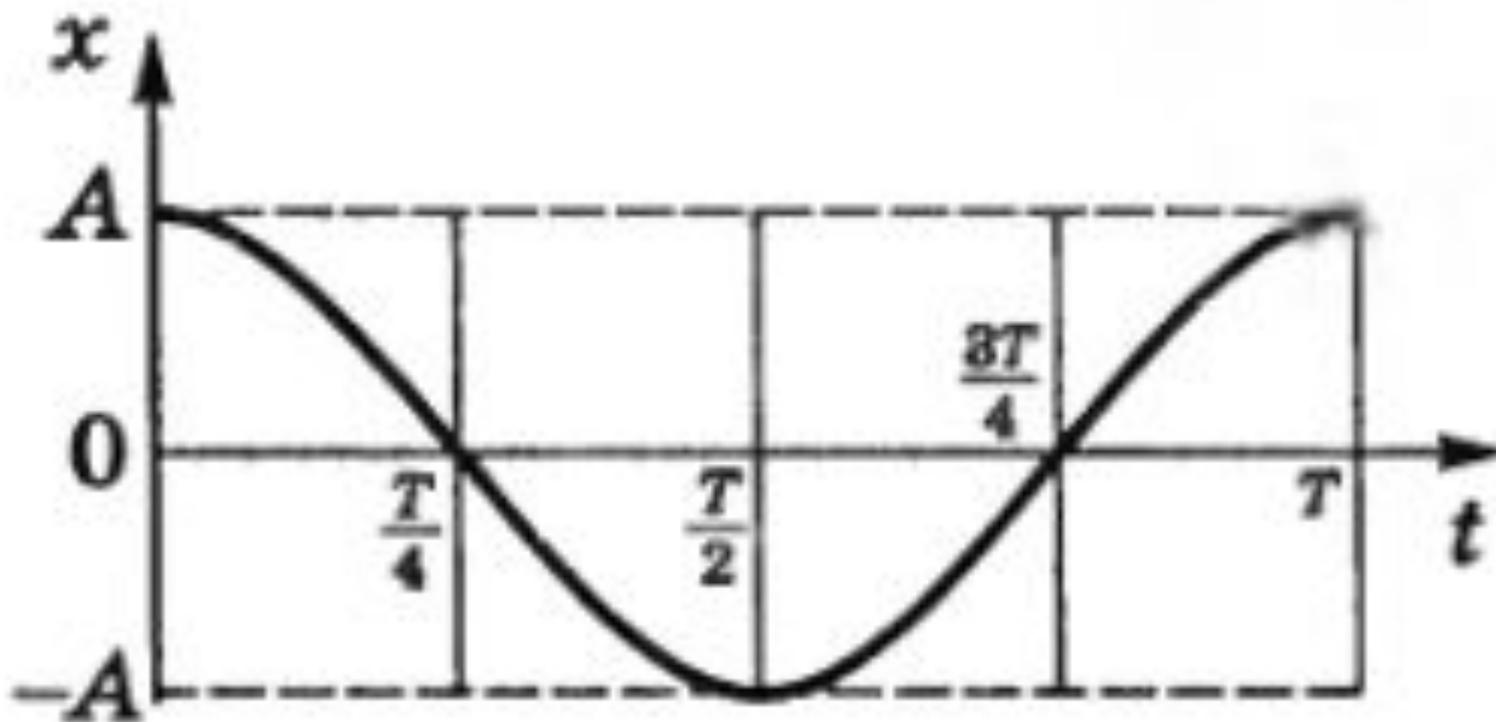
# Гармонические колебания

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0')$$

- $A = x_{\max}$  - амплитуда колебания
- $\omega_0$  - собственная частота колебаний
- $\varphi_0$  - начальная фаза

# Гармонические колебания

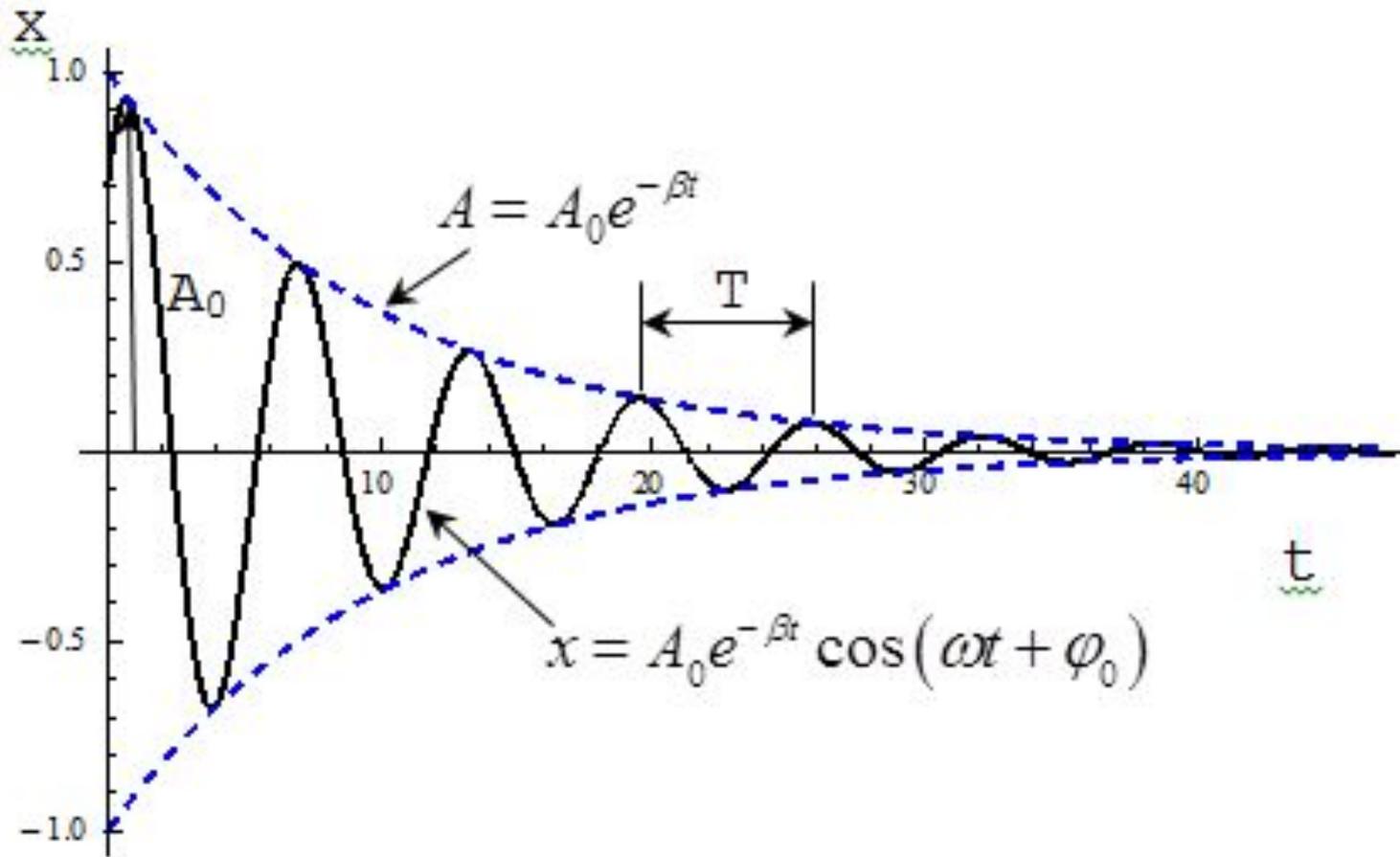


# Затухающие колебания

Колебания, амплитуда которых с течением времени уменьшается из-за потерь энергии реальной колебательной системой

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

# Затухающие колебания



# Вынужденные колебания

$$F = F_0 \cos \omega t$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t$$

$$x = A \cos(\omega t - \varphi)$$

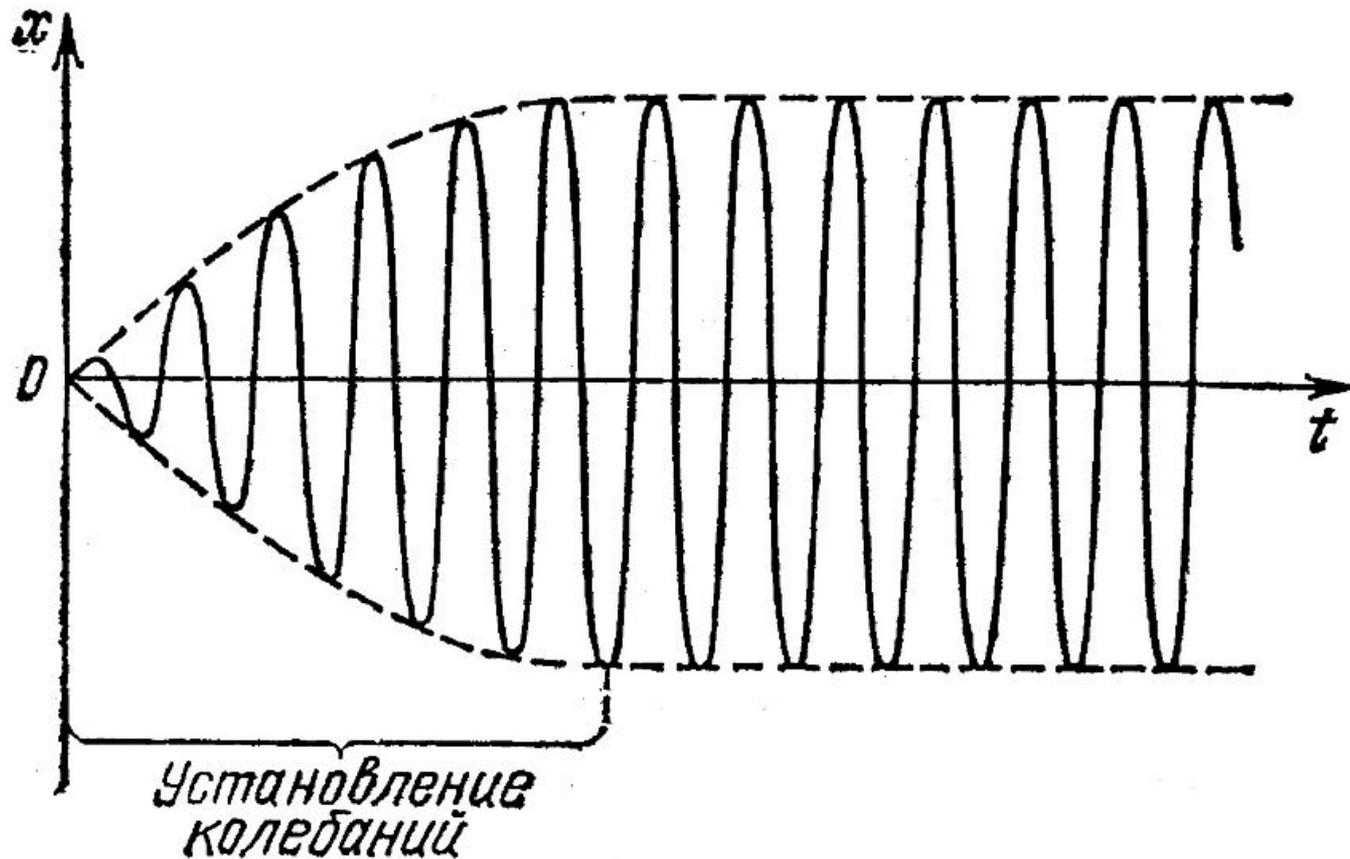
$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} \text{ - амплитуда}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \text{ - фаза}$$

$\omega_0$  - собственная частота

$\omega$  - частота вынуждающей силы

# Вынужденные колебания

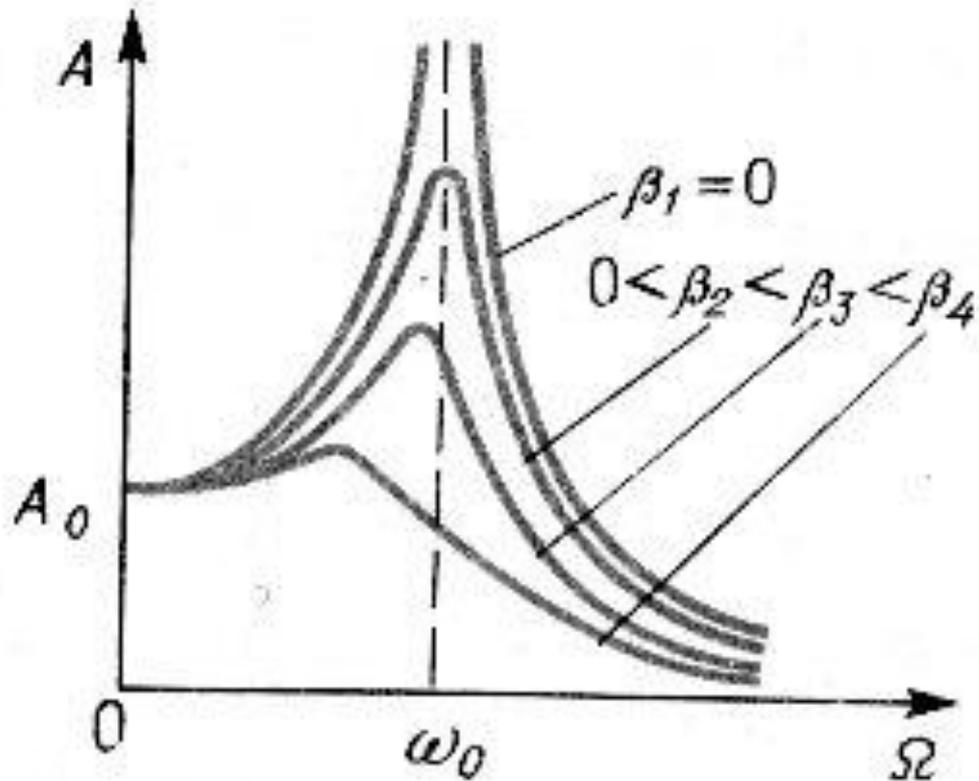


# Резонанс

Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте колебательной системы.

Резонансная частота  $\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$

# Резонансные кривые



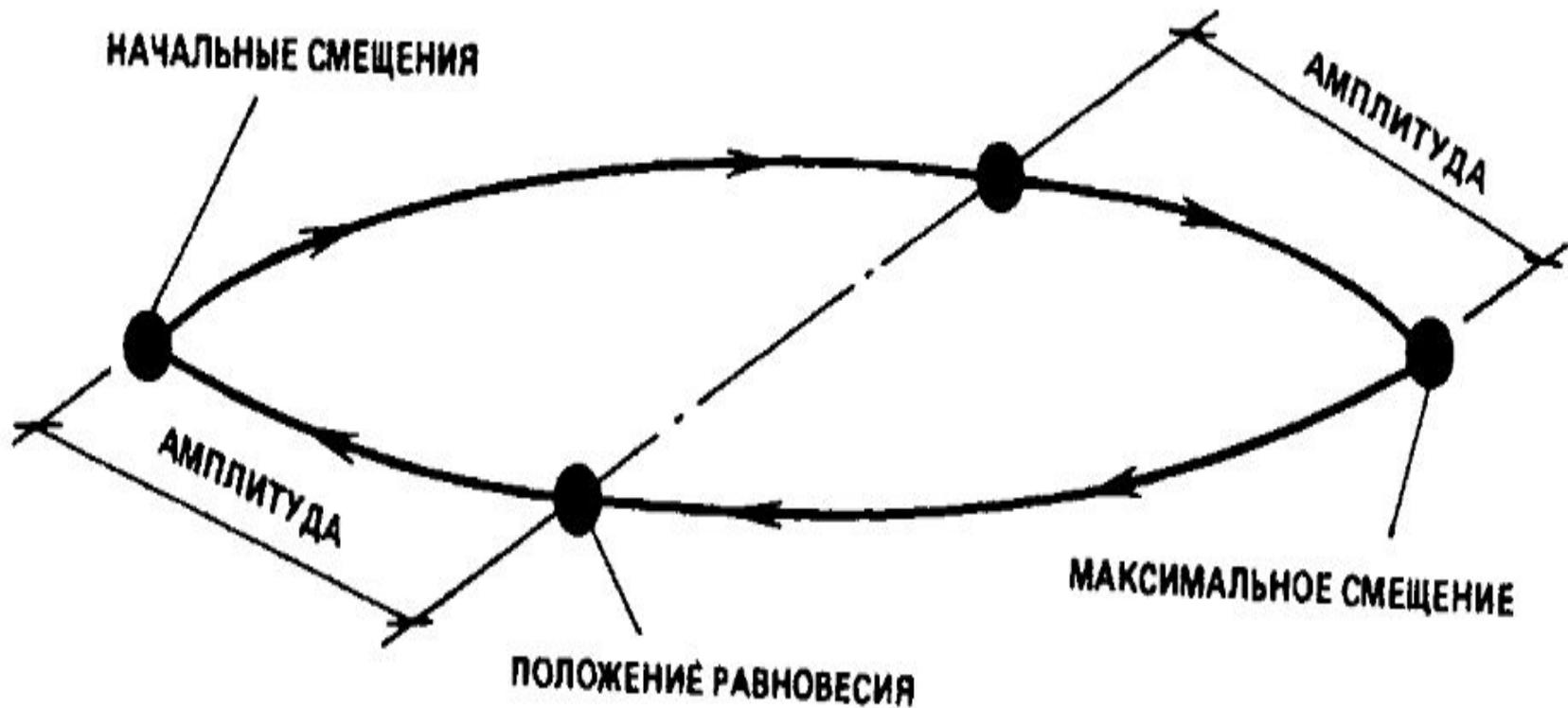
## Основные понятия. Звуковые волны.

**Звук** – это колебательное движение в любой материальной, то есть обладающей упругостью и инерционностью среде, вызванное каким-либо источником.

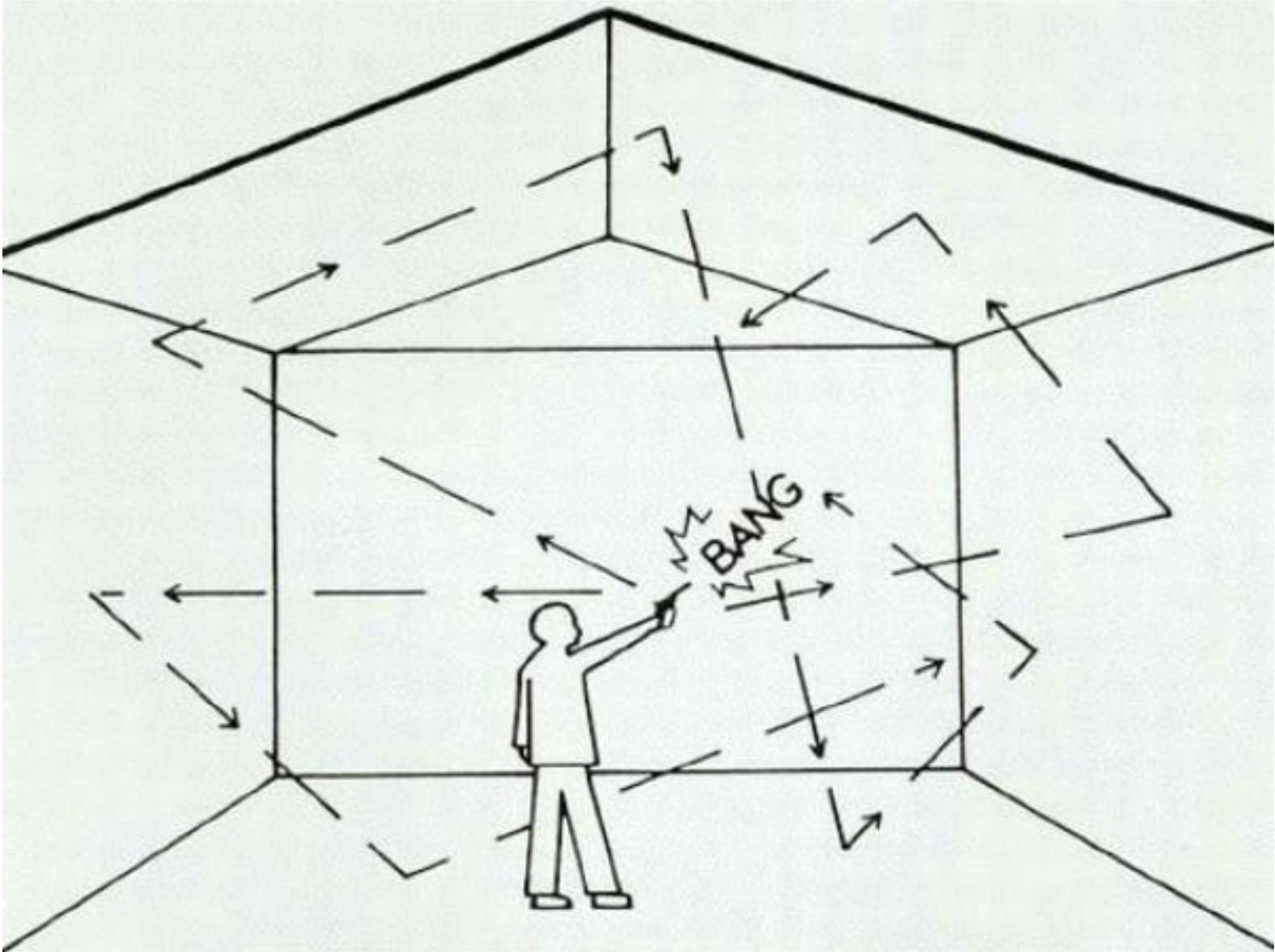
**Звуковой волной** называют процесс распространения колебательного движения в среде.



# Колебания частиц упругой среды

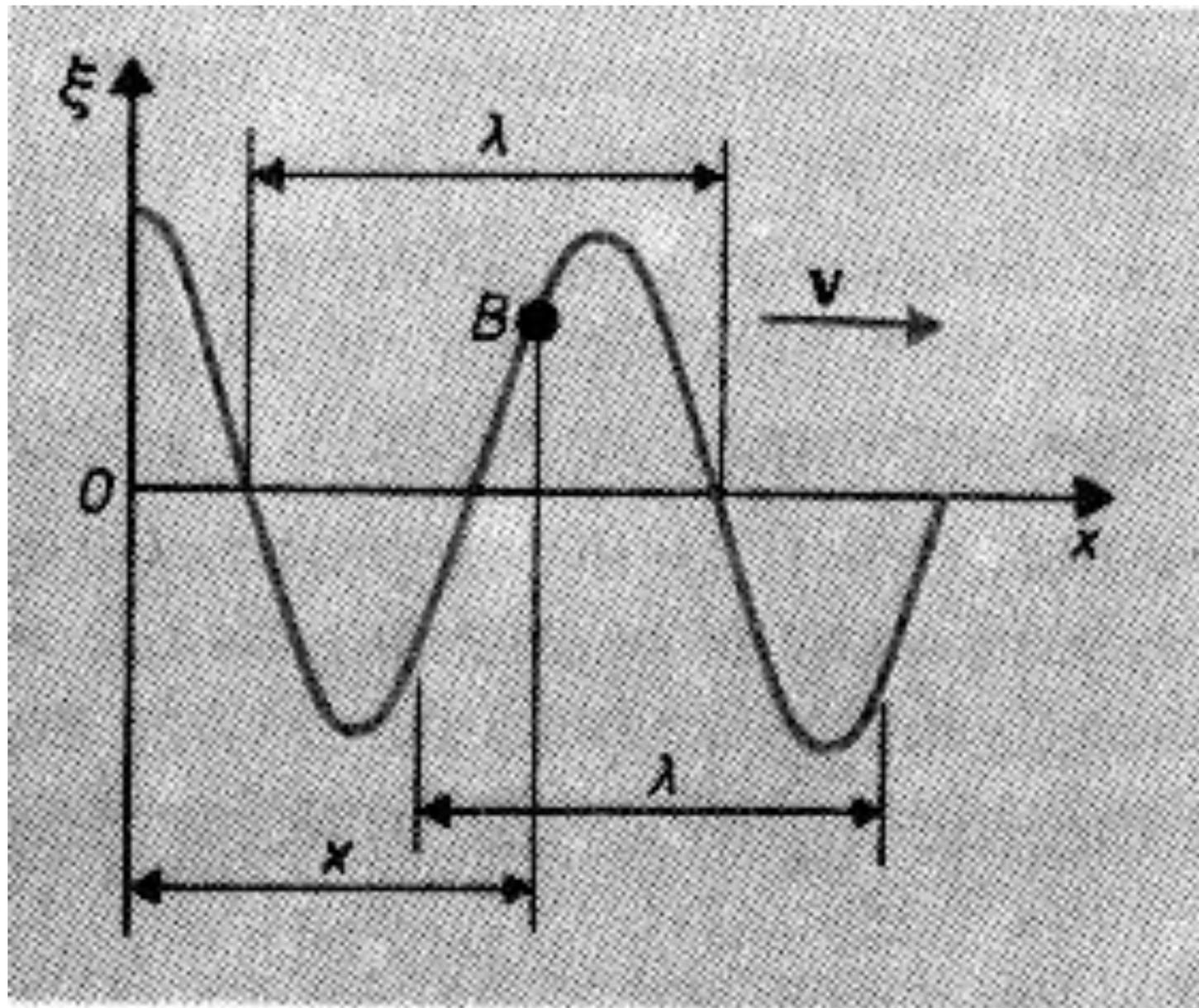


**Фронтом звуковой волны** называют поверхность, проходящую через частицы среды, совершающие колебания в одной и той же фазе. Направление распространения звука в каждой точке фронта является нормалью к его поверхности.



# Гармоническая волна или синусоидальная волна

Упругая волна называется гармонической, если соответствующие ей колебания частиц среды являются гармоническими.



# Длина волны

- Расстояние, измеренное вдоль направления распространения волны, между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе (разность фаз их колебаний равна  $2\pi$ )
- Расстояние, за которое распространяется волна за время равное периоду колебаний

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

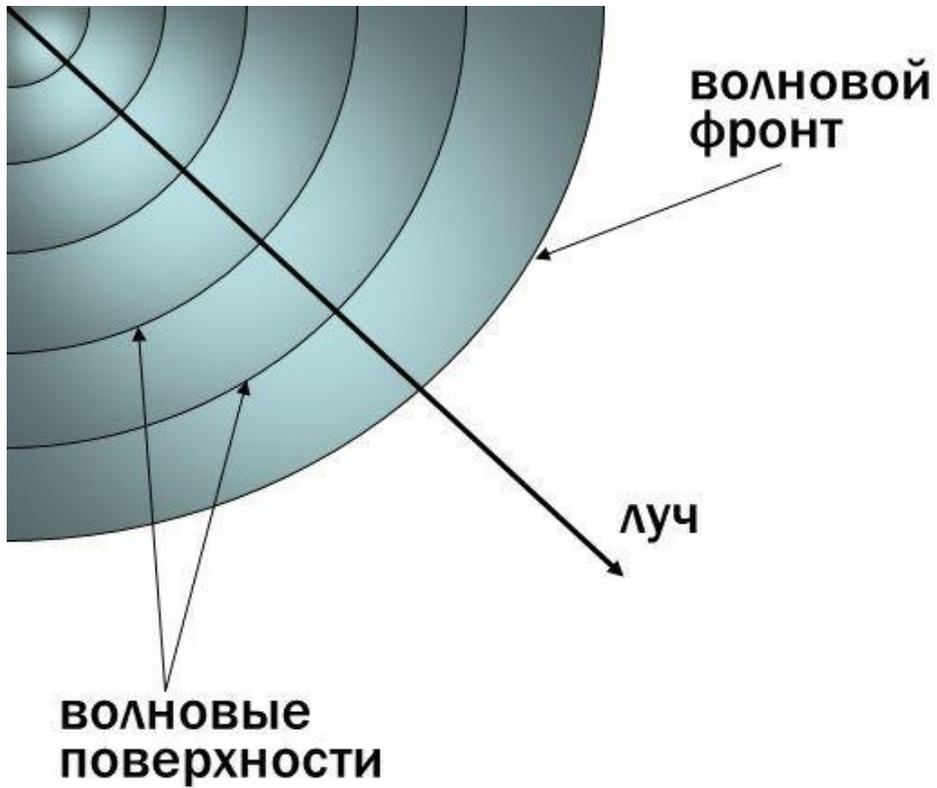
## Волновая поверхность (фронт волны)

- Геометрическое место точек, в которых фаза колебаний имеет одно и то же значение

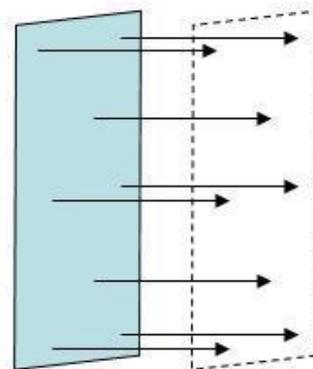
Направление распространения волны в каждой точке волновой поверхности является нормалью к ней

# Волна называется

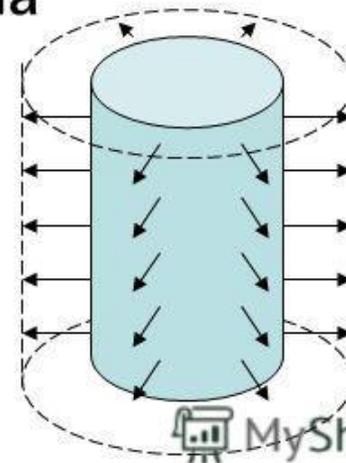
- **Плоской**, если её волновые поверхности представляют совокупность плоскостей, параллельных друг другу
- **Сферической** (шаровой), если её волновые поверхности имеют вид концентрических сфер
- **Цилиндрической**, если её волновые поверхности имеют вид боковых поверхностей цилиндра



Плоская волна



Цилиндрическая волна



# Уравнение бегущей волны

Источник:

$$\xi(0, t) = A \cos \omega t$$

точка, расположенная на расстоянии  $x$  от источника колебаний в момент времени  $t$ :

$$\xi(x, t) = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{V} \right)$$

$\Delta t = \frac{x}{V}$  — время, необходимое для прохождения волной расстояния  $x$

# Уравнение бегущей волны

- Плоская волна

$$\xi(x, t) = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{V} \right)$$

- Сферическая волна

$$\xi(r, t) = \frac{A_0}{r} \cos \omega \left( t - \frac{r}{V} \right)$$

# Волновое уравнение

(в общем случае в однородной изотропной среде)

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{V^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

для плоской волны

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{V^2} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

# Звуковые волны (звук)

- **упругие волны**, т.е. механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде, вызывающие у человека **звуковые ощущения**

# Частотные диапазоны

Сотрясение (вибрация)

Инфразвук

Звук

Ультразвук

Диапазон

Около 16 Гц

СЛЫШИМОСТИ

Строительная

10 Октав

акустика

Около 16000 Гц

Звук

100 Гц

5 Октав

Около 3200 Гц

# Волна характеризуется

- Амплитудой
- Частотой
- Formой

# Амплитуда



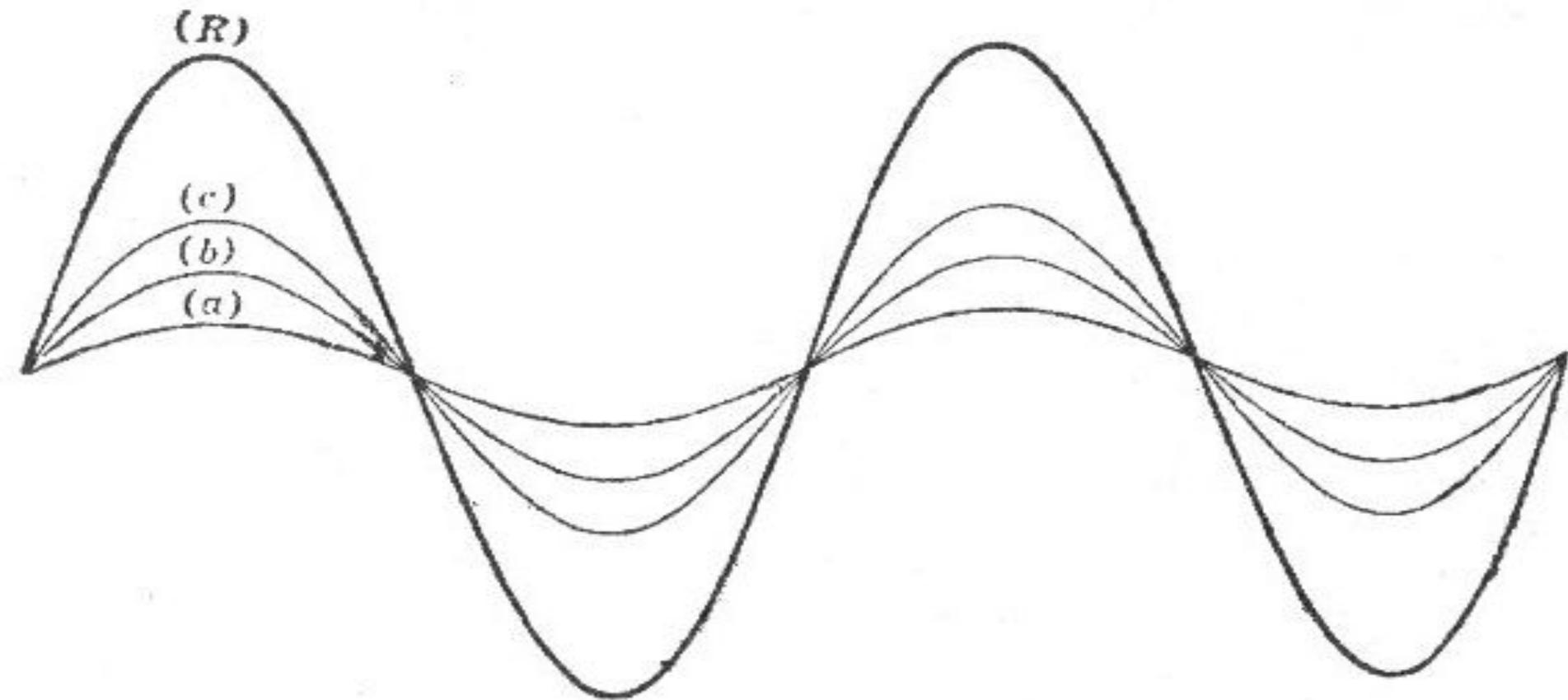
# Частота



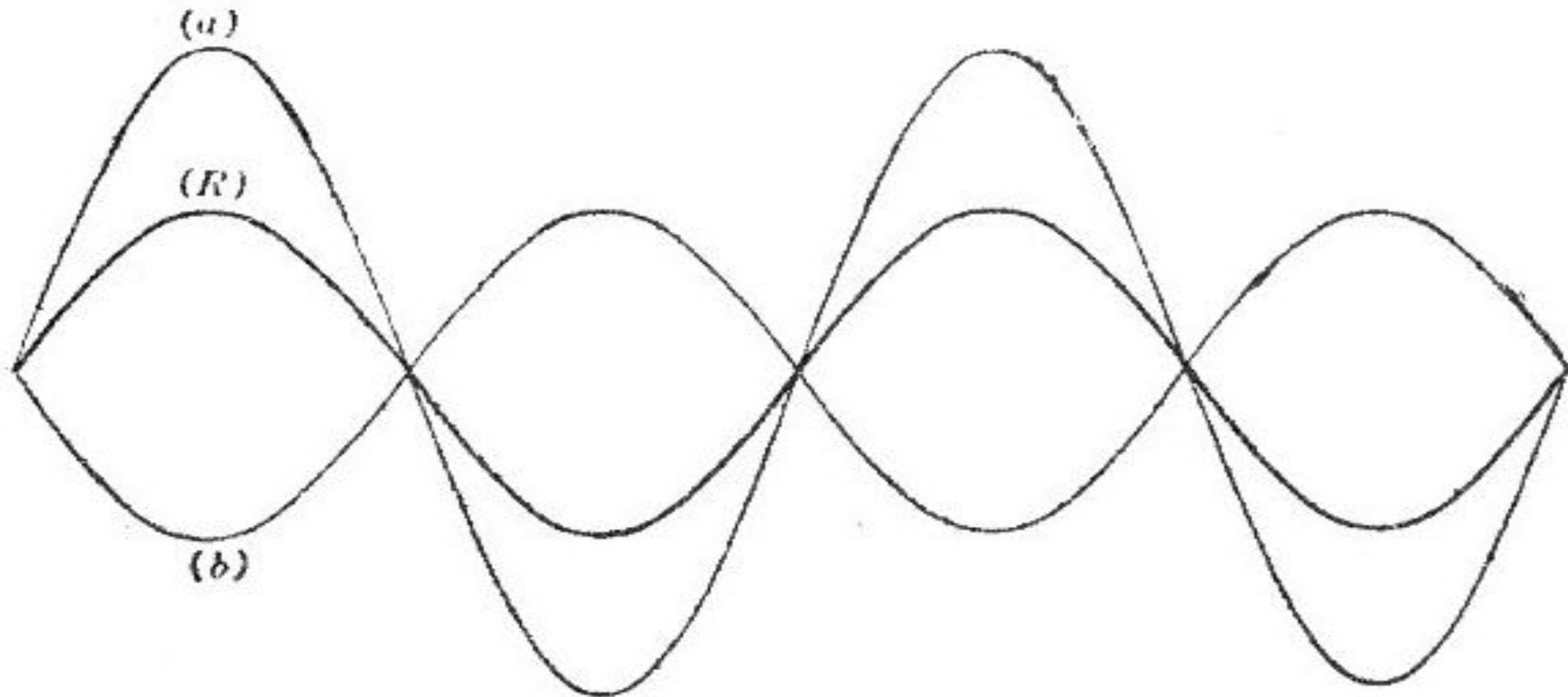
# Форма волны

- Синусоидальная звуковая волна – **ЧИСТЫЙ ТОН**
- Несинусоидальная звуковая волна

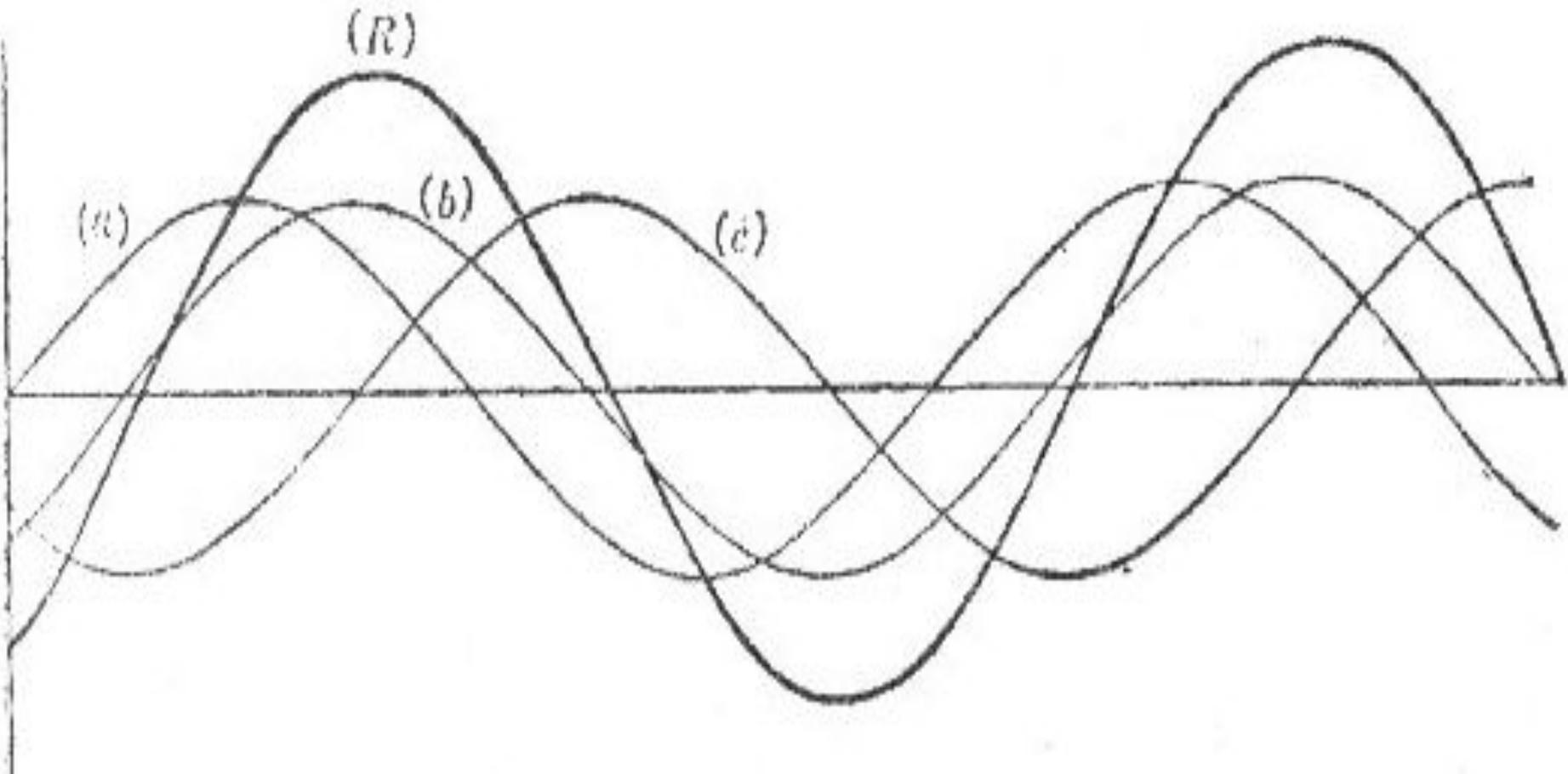
# Сложение трёх синусоидальных колебаний одинаковой частоты и фазы



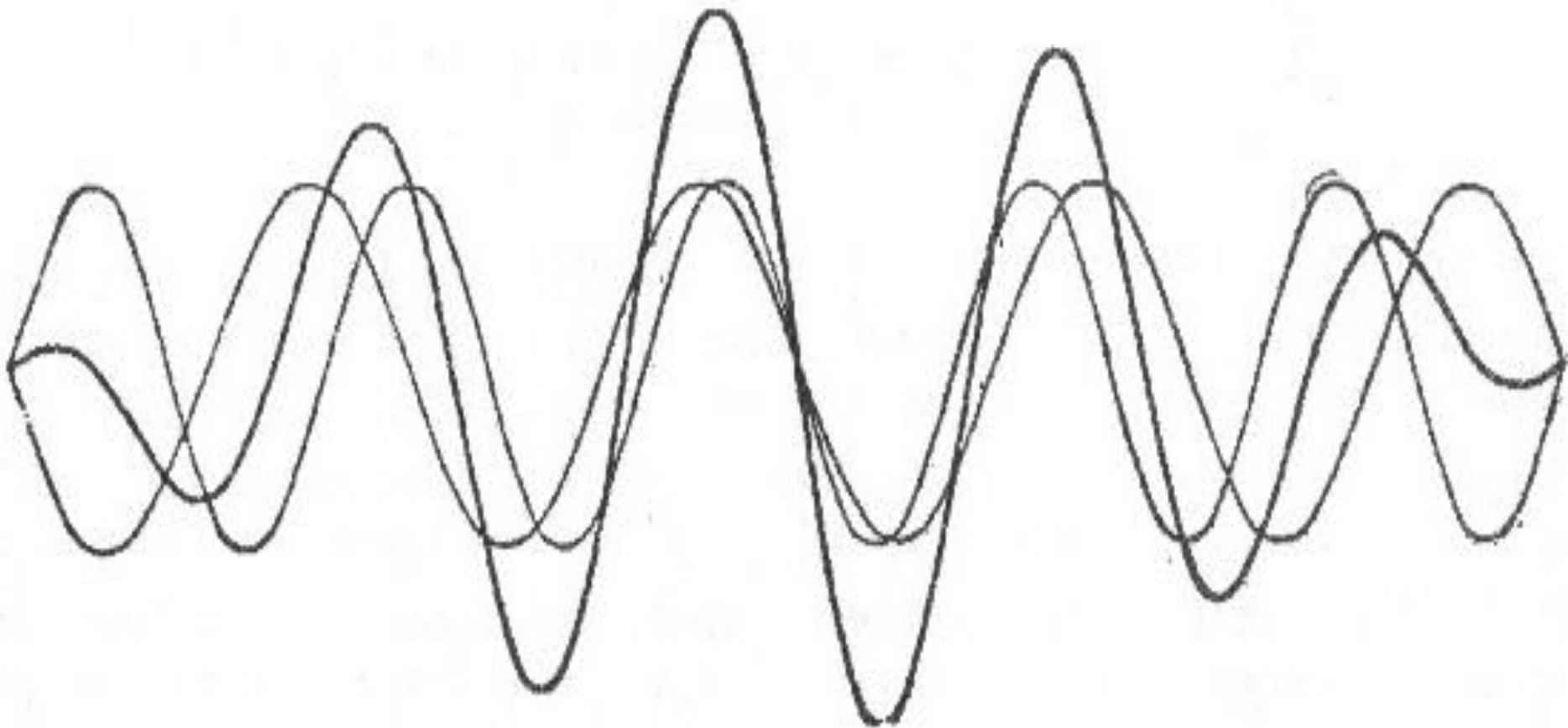
Сложение двух синусоидальных колебаний одинаковой частоты, но противоположных по фазе



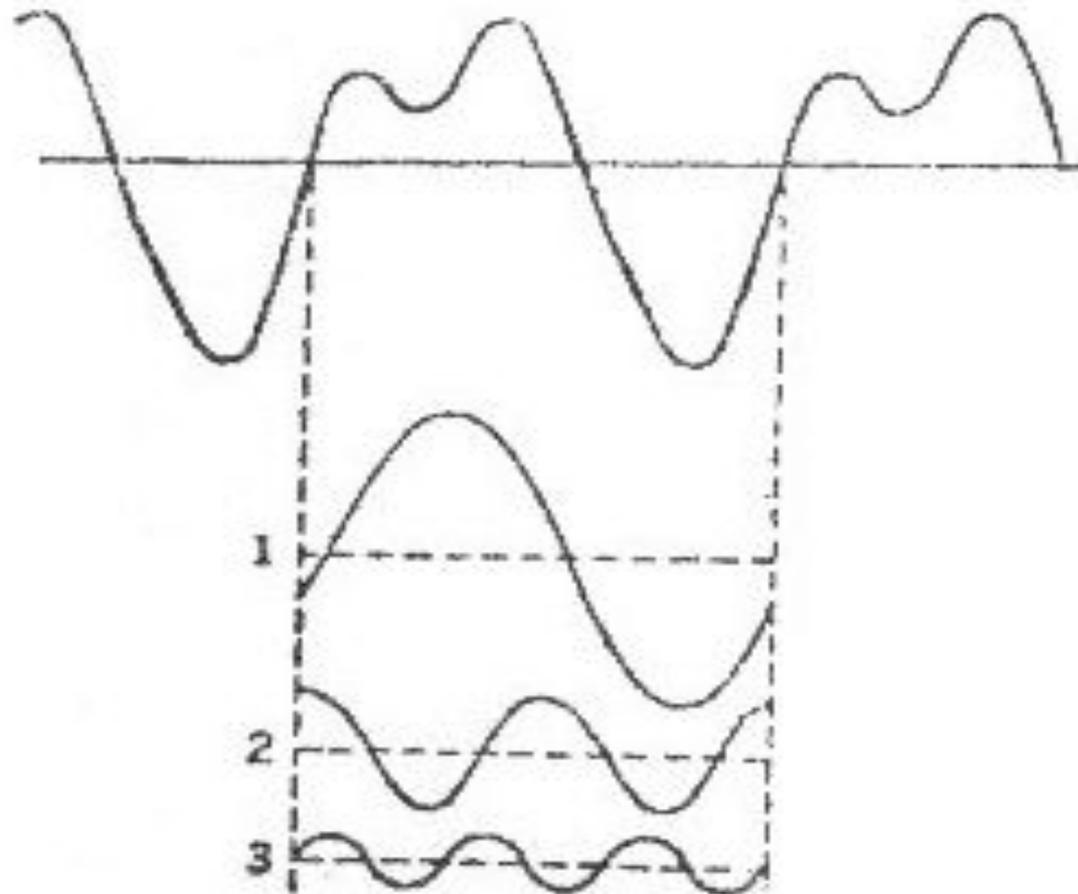
Сложение трёх синусоидальных колебаний одинаковой частоты и амплитуды, но несовпадающих по фазе



Сложение двух синусоидальных колебаний с близкими частотами (биения)



# Сложение трёх синусоидальных колебаний с кратными частотами (1:2:3) (на примере скрипичного тона)



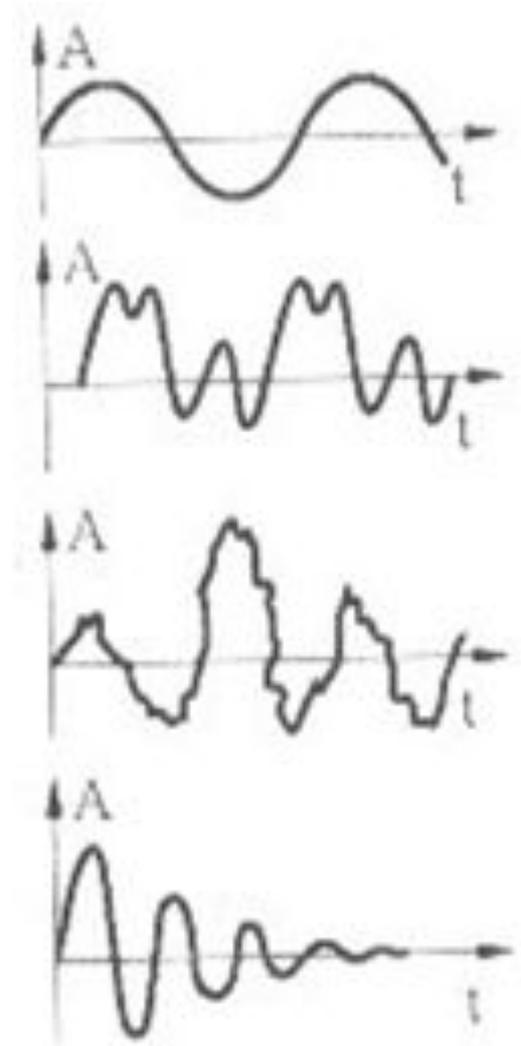
# Форма волны

**Тон:** Звуковые колебания синусоидальной формы.

**Звучание:** Наложение многих тонов.

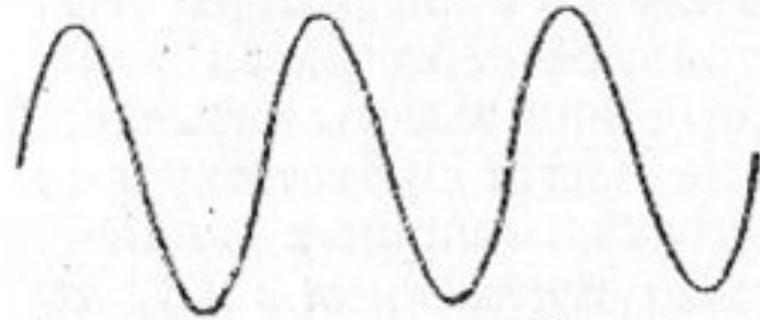
**Шум:** Нерегулярные колебания без закономерной зависимости.

**Громкий резкий короткий звук:** Кратковременный, очень сильный быстро кончающийся звуковой сигнал.

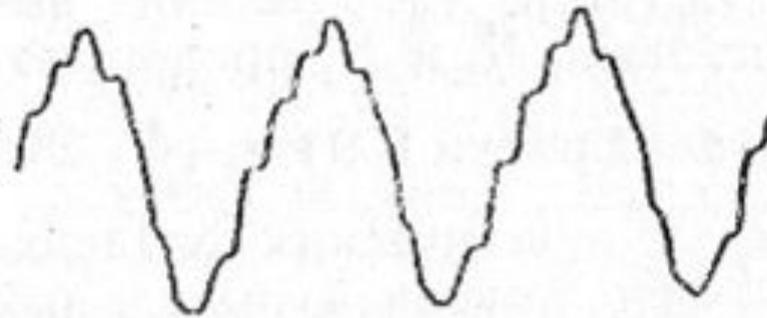


# Восприятие звука в зависимости от свойств волны

- **Частота** – определяет высоту тона
- **Амплитуда** – определяет громкость
- **Форма волны** – определяет окраску звучания



Камертон



Скрипка



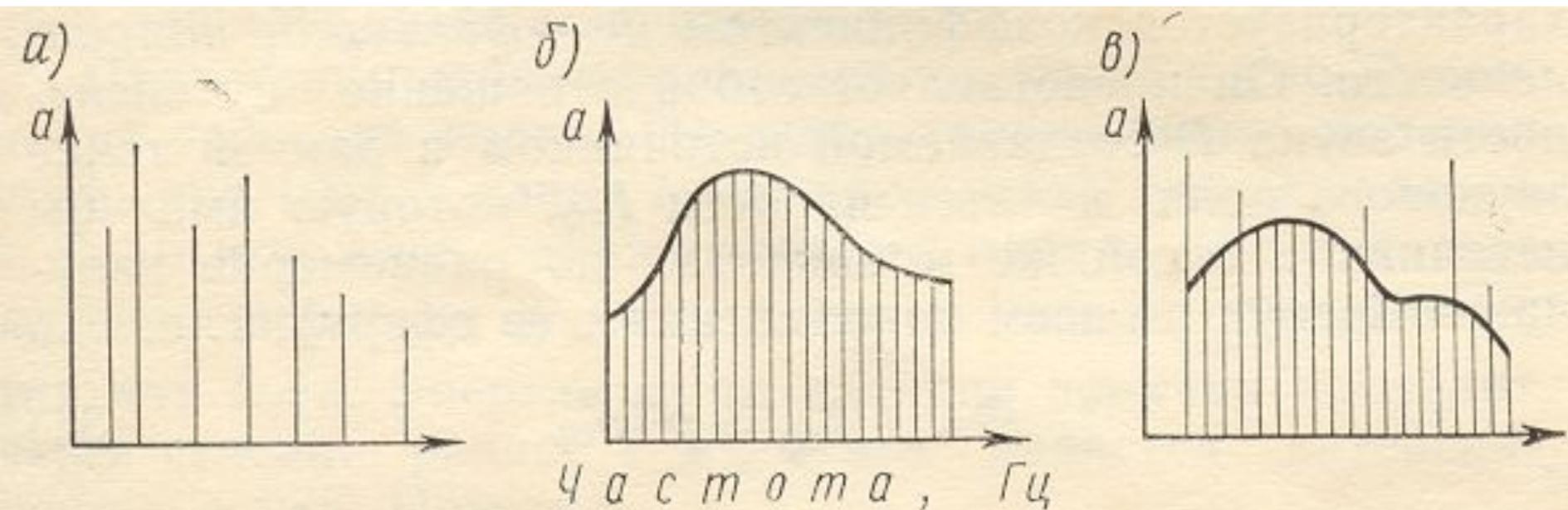
Гобой

# Частотный спектр (или частотная характеристика)

- Распределение (зависимость) какой-либо физической величины (звуковой энергии, амплитуды, колебаний и т.п.) от **частоты**

# Типы спектров

- Линейчатый (дискретный) спектр – а
- Сплошной спектр – б
- Смешанный спектр – в



# Типы спектров

- **Линейчатый дискретный спектр**  
**периодические колебания сложной формы**

(представляются суммой синусоидальных колебаний с различной амплитудой)

- **Сплошной спектр**

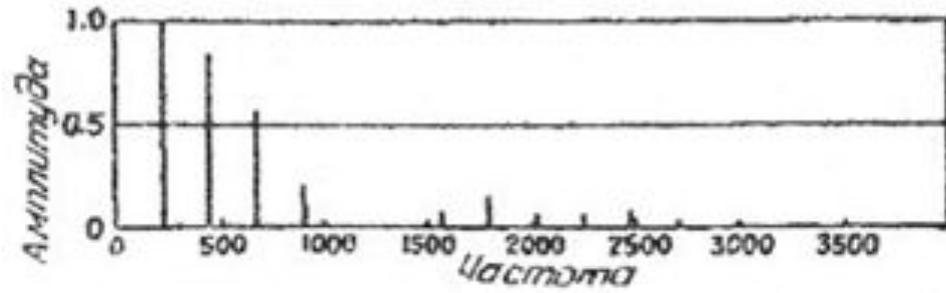
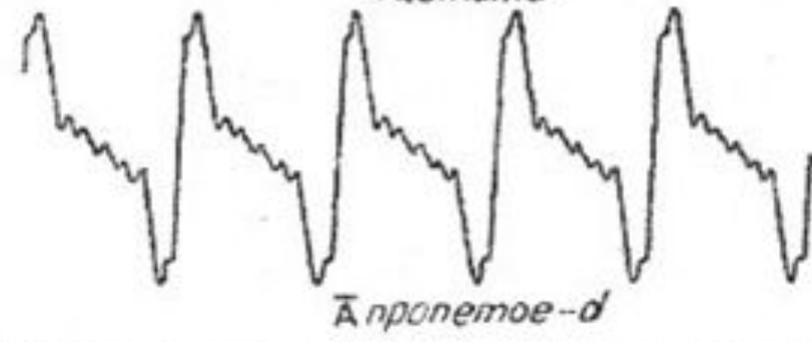
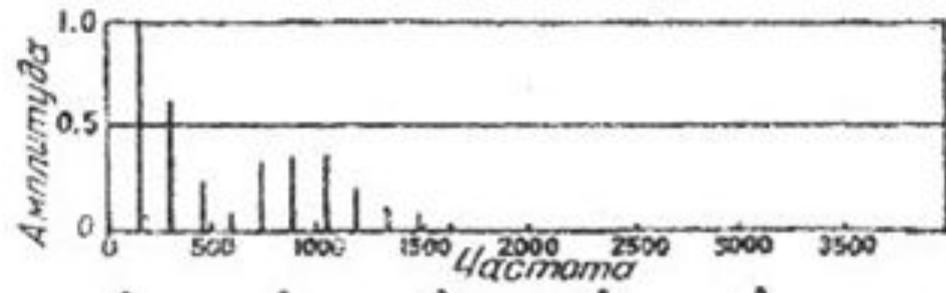
непериодические колебания сложной формы  
(представляются в виде бесконечно большого числа синусоидальных составляющих)

- **Смешанный спектр**

наложение линейчатого и сплошного спектров

# Белый шум

- равномерное распределение энергии в звуковом диапазоне частот



# Октава

- полоса частот (от  $f_1$  до  $f_2$ ), в которой верхняя частота в два раза больше нижней

Третьоктавная полоса  $\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2} = 1,26$

За среднюю частоту полосы принимают среднегеометрическую частоту

$$f_{cp} = \sqrt{f_1 f_2}$$

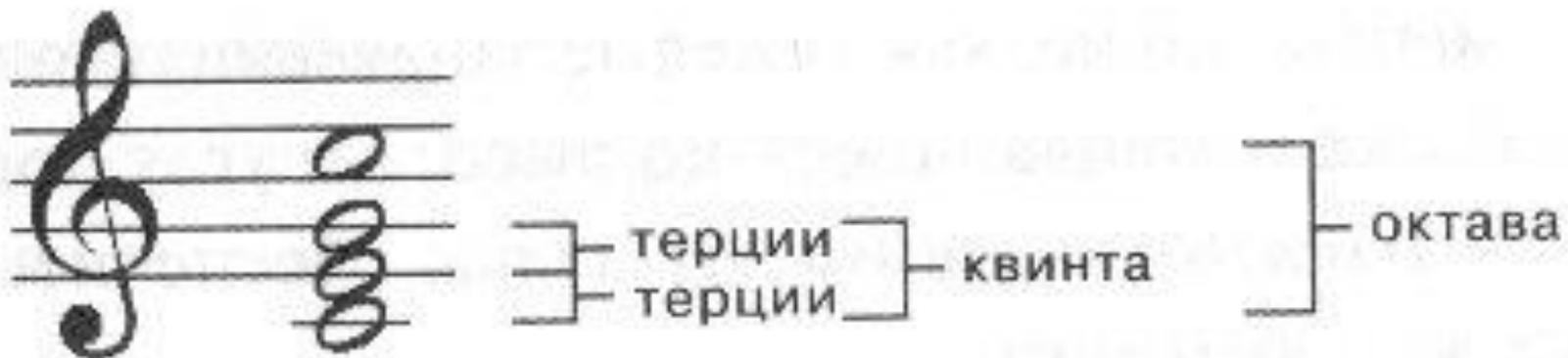
# Частоты в октавных интервалах



# Музыкальные интервалы

- Октава  $2:1$
- Квинта  $3:2$
- Кварта  $4:3$
- Большая терция  $6:4$
- Малая терция  $6:5$
- Большая секста  $5:3$
- Малая секста  $8:5$
- Большая секунда  $9:8$
- Малый полутон  $25:24$

# Музыкальные интервалы



## Принятый ряд октавных полос частот

Граничные частоты полосы, Гц	45-90	90-180	180-355	355-710
Средняя частота, Гц	63	125	250	500
Граничные частоты полосы, Гц	710-1400	1400-2800	2800-5600	5600-11200
Средняя частота, Гц	1000	2000	4000	8000

<b>Среднегеометрическая частота 1/3 – октавной полосы</b>	<b>Границы 1/3 – октавной полосы</b>
50	45-56
63	57-70
80	71-88
100	89-111
125	112-140
160	141-176
200	177-222
250	223-280
315	281-353
400	354-445
500	446-561
630	562-707
800	708-890
1000	891-1122

# Продольная волна

направление колебаний частиц среды  
совпадает с направлением распространения  
волны

Продольные волны связаны с объёмной  
деформацией.

Могут образовываться и распространяться в  
любой среде.

# Поперечная волна

частицы среды колеблются, оставаясь в плоскостях, перпендикулярных направлению распространению волны

Поперечные волны связаны с деформациями сдвига.

Могут образовываться и распространяться только в твёрдых телах

Упругие свойства среды характеризуются одной или двумя упругими постоянными

- **K** – модуль объёмной упругости
- **G** – модуль сдвига

# Скорость распространения

- Продольной волны в однородной газообразной среде или жидкости

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

- Поперечной волны в неограниченной изотропной твёрдой среде

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

- Продольной волны в тонком стержне

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

- В пластине 
$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}$$

Материал	Модуль упругости $E_{\text{динам}}$ , МН/м <sup>2</sup>	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Скорость звука $C$ , м/с
Сталь	$208 \cdot 10^3$	7800	5164
Стекло	$52 \cdot 10^3$	2500	4560
Дерево	$7 \cdot 10^3 \dots 15 \cdot 10^3$	600	3416...5000
Песок	$0.02 \cdot 10^3 \dots 0.2 \cdot 10^3$	2000	100...317
Бетон	$48 \cdot 10^3$	2400	4472
Лёгкий бетон	$4 \cdot 10^3$	1000	2000
Стеновой кирпич	$1 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^3$	600...2000	1290...1580
Силикатный камень	$3 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^3$	600...1200	2236...2580
Гипсокартонные листы	$3 \cdot 10^3$	900	1826

## Скорость распространения звуковой волны в газе

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT} \quad K = \gamma p$$

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8,31 \cdot (273 + 20)}{0,029}} = 342,85 \text{ м/с}$$

$$v = 330 + 0,6t$$

$$v = 330 + 0,6 \cdot 20 = 342 \text{ м/с}$$