



**Физические основы компьютерных и
сетевых технологий**

Семестр 2. Колебания и волны



Музыченко Я.Б.
muzychenko@itmo.ru
2024

Лекция 8. Волны



- Процесс распространения колебаний – волны;
- Продольные и поперечные волны. Характеристики волн;
- Плоские и сферические волны; Волновое уравнение;
- Стоячие волны;
- Звуковые волны. Элементы акустики;
- Ультразвук. Эффект Доплера.

Как распространяются колебания в веществе?

Как записывается одно из самых фундаментальных уравнений – волновое уравнение?

Как работает микрофон?

Как и почему именно так звучат музыкальные инструменты?

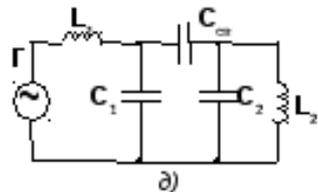
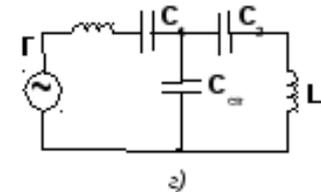
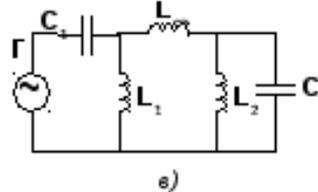
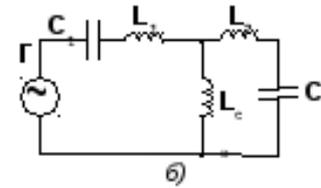
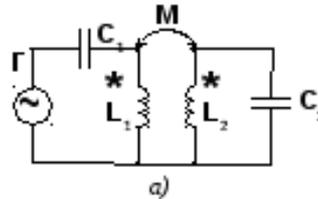
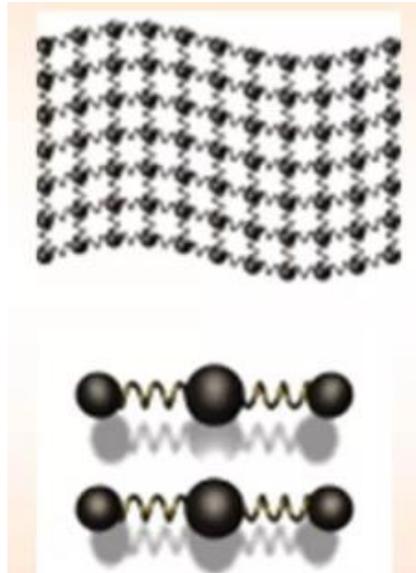
Волновой процесс

Волна – процесс распространения колебаний в среде.



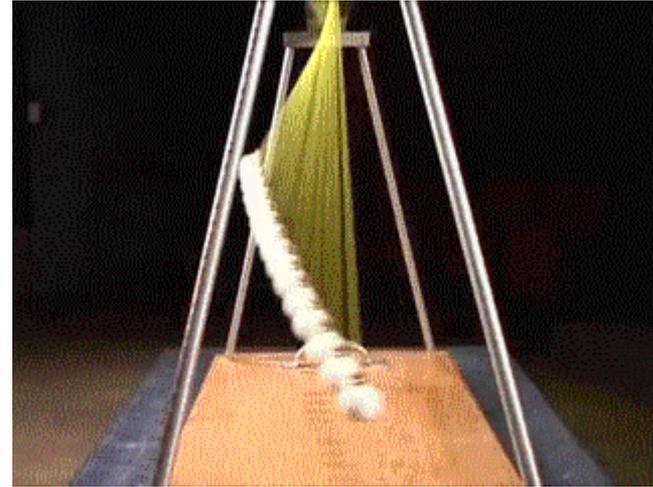
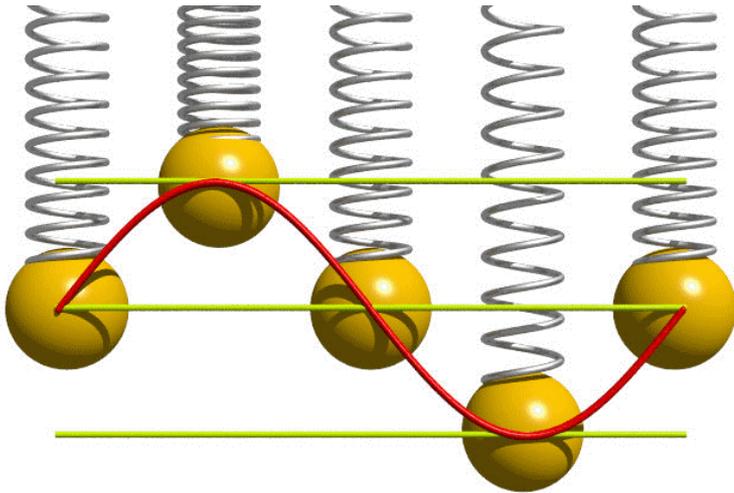
Теория строения вещества, **атомы – связанные системы**. Электромагнитные связанные контуры. В связанных системах под действием вынуждающей силы наблюдается резонанс (частота вынуждающей силы должна быть равна одной из нормальных частот).

Связанные системы – передача колебаний – **ВОЛНОВОЙ ПРОЦЕСС!**



Более простые примеры:

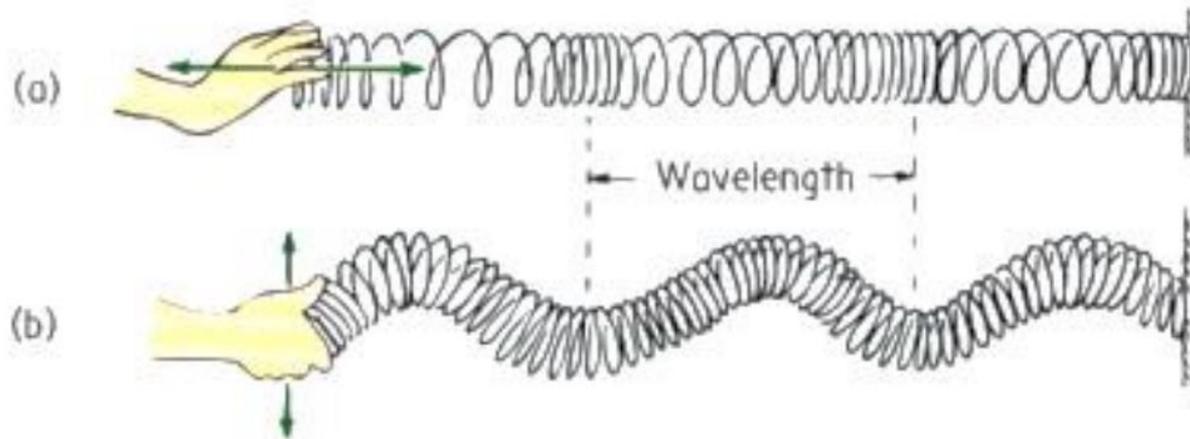
Волна не переносит вещество! **Переносится только энергия!** Все частицы колеблются около положения равновесия.



Поляризация волн:

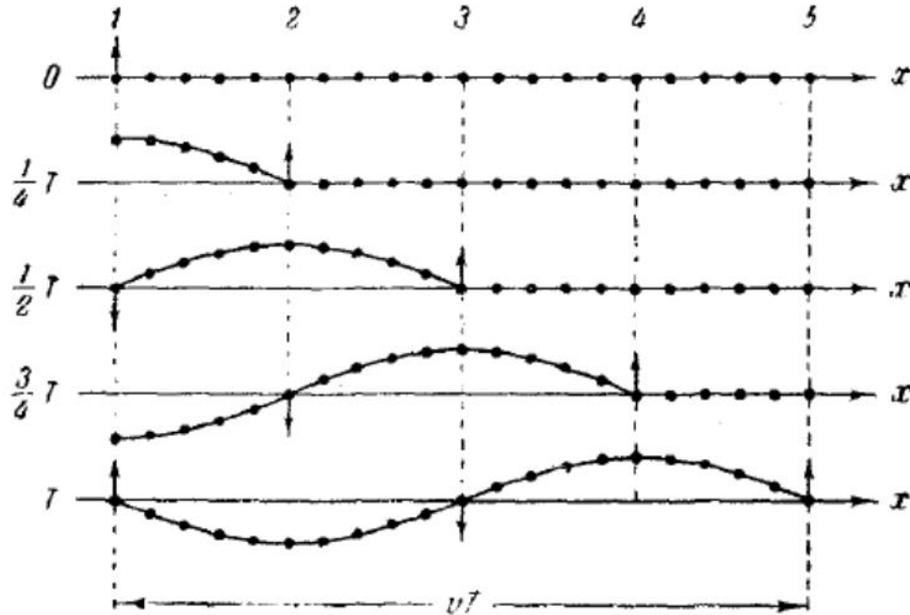
Продольные волны – колебания происходят вдоль распространения волны.

Поперечные волны – колебания происходят перпендикулярно распространению волны.



Процесс распространения поперечных волн:

Частицы колеблются около положений равновесий с разным сдвигом фаз. Частицы, отстоящие друг от друга на расстояние vT колеблются в одной фазе.

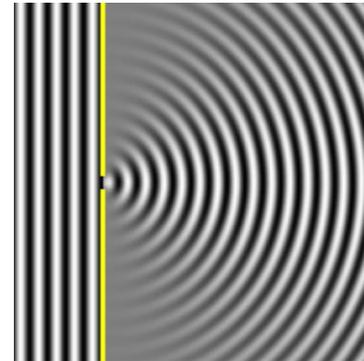
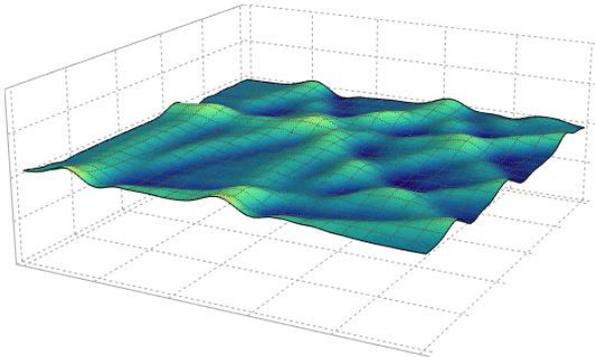


Длина волны – расстояние, проходимое волной за период:

$$\lambda = vT$$

Фронт волны – геометрическое место точек, до которых доходят колебания в момент времени t .

Волновая поверхность – геометрическое место точек, колеблющихся в одной фазе. Наиболее распространенные волновые поверхности – плоскость и сфера.



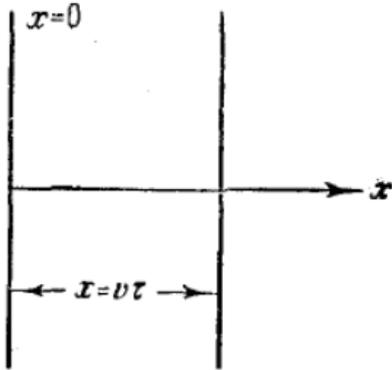
Уравнение плоской волны:

Плоская волна – волна, волновая поверхность которой представляет собой плоскость.

Уравнение волны – выражение, определяющее смещение колеблющейся точки как функцию от координат и времени.

$$\xi(x, y, z, t)$$

Найдем уравнение плоской волны: $\xi(x, y, z, t) = \xi(x, t)$



Допустим, точка в плоскости $x=0$ совершает колебание:

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

Через время $\tau = x/v$ волна достигнет плоскости x

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

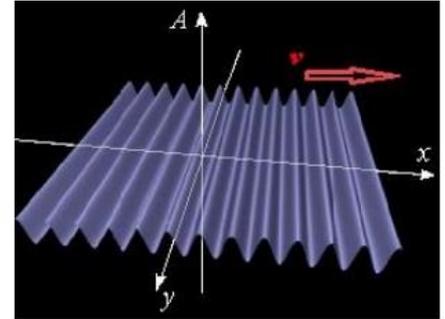
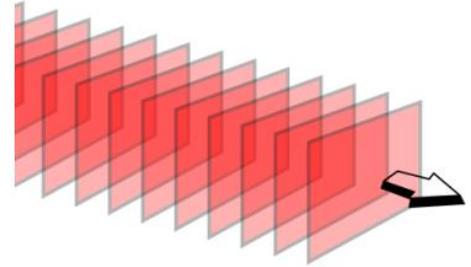
$$\omega t - \frac{\omega x}{v} = const$$

$$v = \frac{dx}{dt}$$

Фазовая скорость

$$k = \frac{\omega}{v}$$

Волновое число



Уравнение плоской и сферической волн:

Уравнение плоской волны:

$$\xi(x, t) = a \cos(\omega t - kx)$$

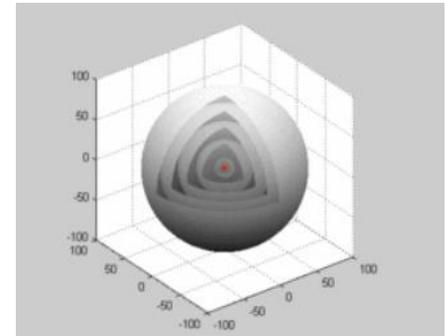
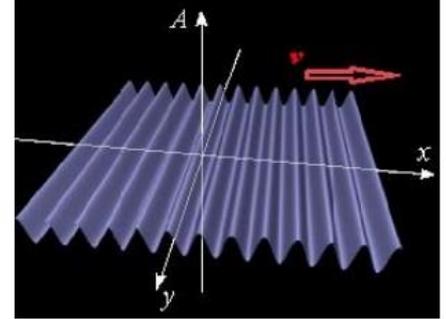
$$\xi(x, t) = a e^{-i\varphi} = a e^{-i(\omega t - kx)}$$

Уравнение сферической волны:

$$\xi(r, t) = \frac{a}{r} \cos(\omega t - kr)$$

Амплитуда сферической волны убывает, даже если в системе нет затуханий!

Формула справедлива расстояний много больших размеров источника.



Волновое уравнение:

ИТМО

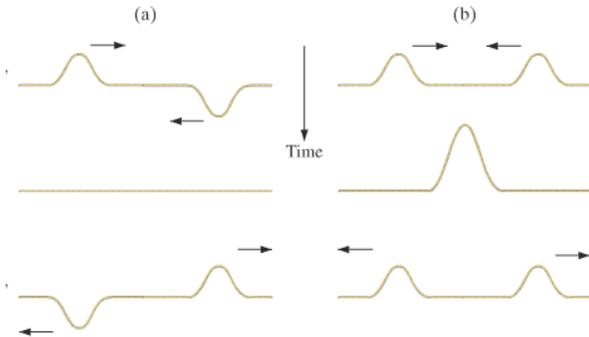
Здесь вывод на доске

Волновое уравнение:

Волновое уравнение (одномерный случай):

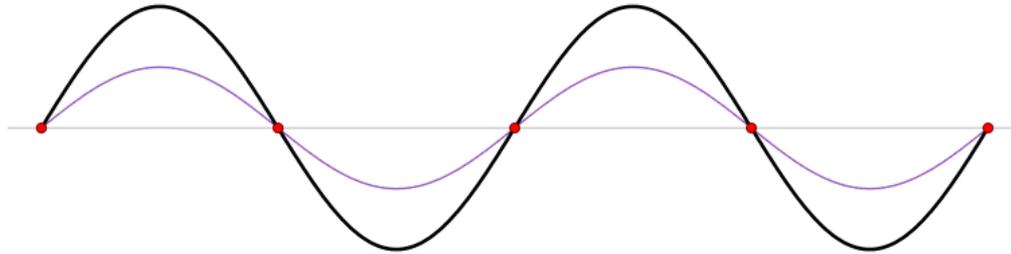
$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

Всем волнам присущи такие явления как интерференция и дифракция:



Стоячие волны:

Стоячие волны – колебательный процесс, возникающий в результате наложения двух встречных плоских волн с одинаковой амплитудой.

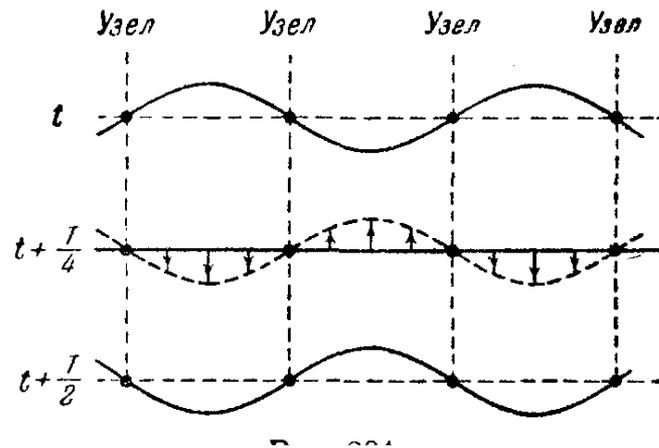


$$\xi_1 = a \cos\left(\omega t - \frac{\omega x}{v}\right)$$

$$\xi_2 = a \cos\left(\omega t + \frac{\omega x}{v}\right)$$

Стоячие волны:

Здесь вывод на доске



Стоячие волны:

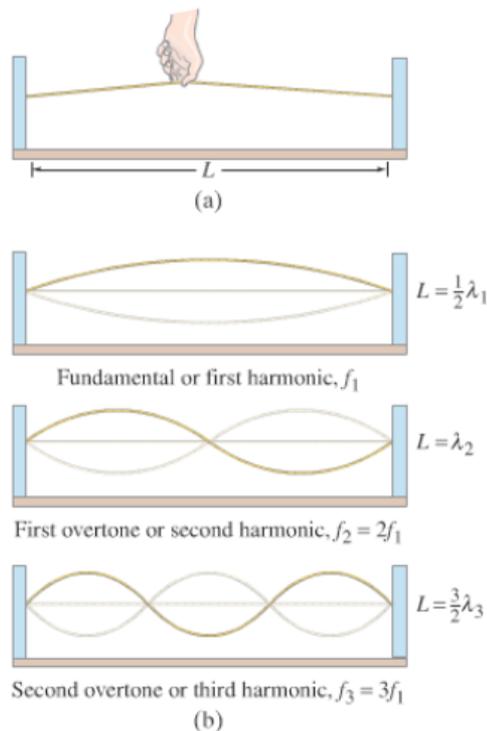
В струне могут возникать стоячие волны при возбуждении поперечных колебаний (оба конца струны закреплены и являются узлами)

$$l = n \frac{\lambda}{2} \quad \lambda_n = \frac{2l}{n}$$

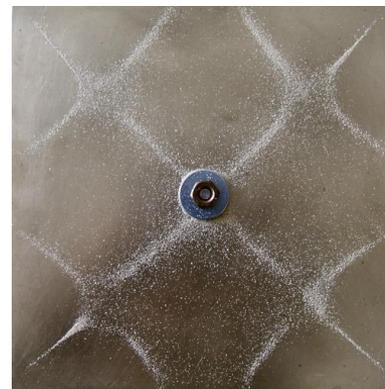
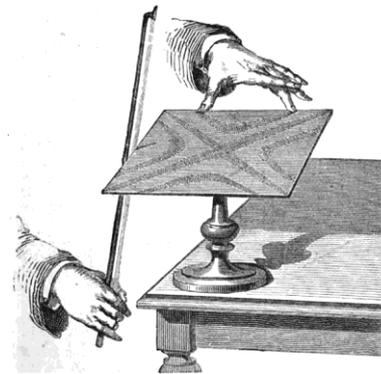
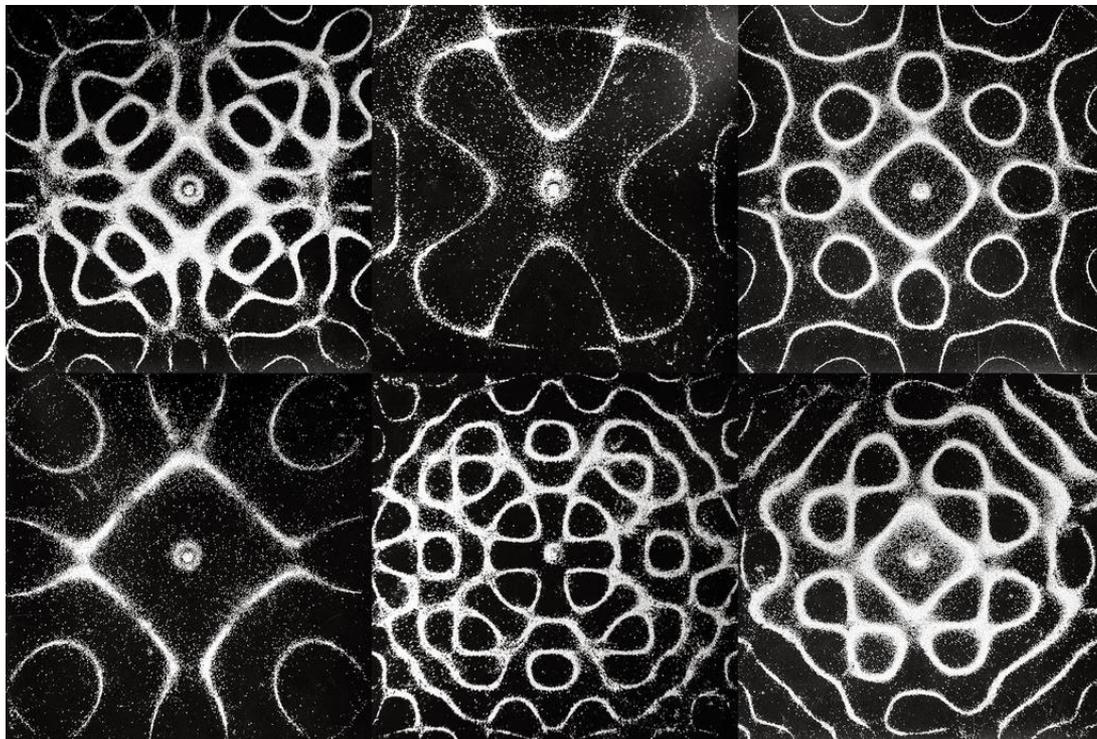
$$v_n = \frac{v}{\lambda} = n \frac{v}{2l}$$

Собственные частоты колебаний – **обертоны** (первый обертон – $n=2$)

Фазовая скорость волны зависит от силы натяжения струны и массы единицы длины.

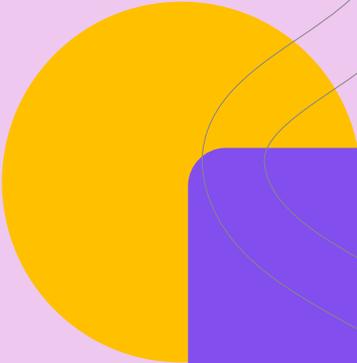


Двумерные стоячие волны. Фигуры Хладни



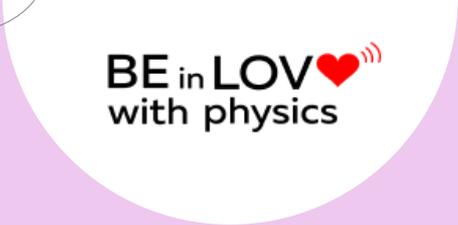
https://www.youtube.com/watch?v=OKE_FRgOg5k

<https://habr.com/ru/post/406637/>



**Спасибо
за внимание!**

muzychenko@itmo.ru



BE in LOV  
with physics