*Лекция 8*

# ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ

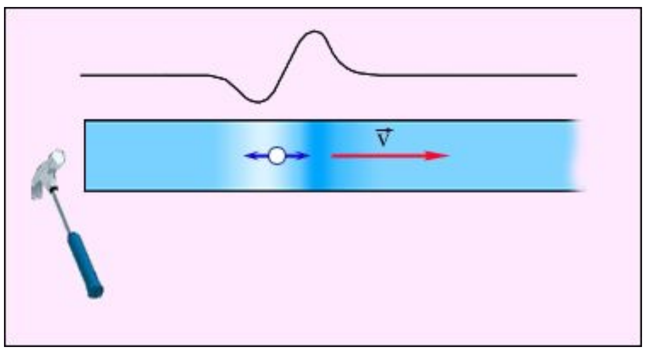
**Вопросы:**

1. Виды механических волн и их основные характеристики.
2. Уравнение плоской незатухающей бегущей волны. Энергия упругих волн.
3. Интерференция волн. Стоячие волны.

***Процесс распространения колебаний в произвольной среде*** называется **волновым движением или волной.**

**Механическими (упругими) волнами** называется ***распространение механических возмущений в сплошной упругой среде.***

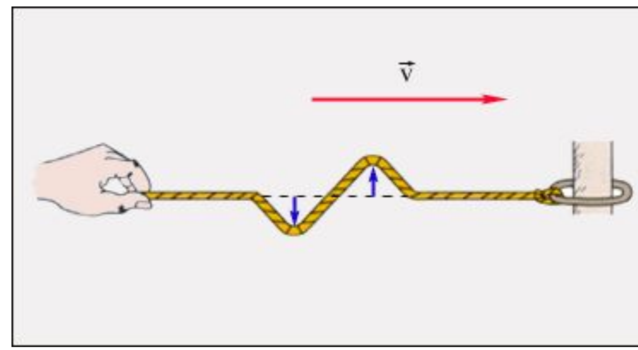
**Основным свойством всех волн**, независимо от их природы, является ***перенос энергии без переноса вещества***.





Продольная волна

**(*частицы среды колеблются в направлении распространения волны*)**





Поперечная волна

**(*частицы среды колеблются в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения волны*)**

**Расстояние между ближайшими частицами среды, колеблющимися в одинаковой фазе, называется *длиной волны*** $\lambda$**.**

**Длина волны равна расстоянию, на которое распространяется волна за один период колебаний:**

$$\lambda = vT, \quad T = \frac{1}{\nu} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{\upsilon}{\nu} = \frac{2\pi\upsilon}{\omega}$$

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$$ – ***волновое число.***

**Геометрическое место точек, до которых колебания доходят к моменту времени *t*, называется *волновым фронтом*.**

**Геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе, называется *волновой поверхностью*.**

# Уравнение плоской незатухающей бегущей волны

***Уравнением волны*** называется выражение, которое даёт смещение колеблющихся частиц среды как функцию её координат и времени:

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

***Бегущими* называются волны, которые переносят в пространстве энергию.**

Вид функции $\xi$ в случае ***плоской волны***
(волновые поверхности имеют вид плоскостей):

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

$$= A\cos\left(\omega t - \frac{\omega}{v}x + \alpha\right)$$

С учетом понятия волнового числа **уравнение плоской незатухающей бегущей волны** приобретает следующий вид:

$$\xi(x, t) = A\cos(\omega t - kx + \alpha),$$

где $(\omega t - kx + \alpha)$ – ***фаза распространяющейся волны***,

$\alpha$ – ***начальная фаза***, зависящая от выбора начала отсчета координаты $x$ и времени $t$;

$A = \mathrm{const.}$ – ***амплитуда волны***.

**Если плоская волна распространяется в отрицательном направлении оси *x***, то уравнение волны имеет вид:

$$\xi(x, t) = A\cos(\omega t + kx + \alpha)$$

# Энергия упругих волн

**Средняя объемная плотность энергии**, переносимой волной:

$$\langle w \rangle = \frac{W}{V} = \frac{\rho A^2 \omega^2}{2} \qquad \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}\right]$$

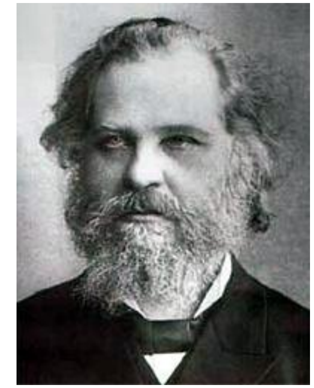
$$\rho = \frac{m}{V}$$ – ***плотность среды***, в которой распространяется волна.

$\boldsymbol{m}$ – масса частиц среды, находящихся в объеме $V$.

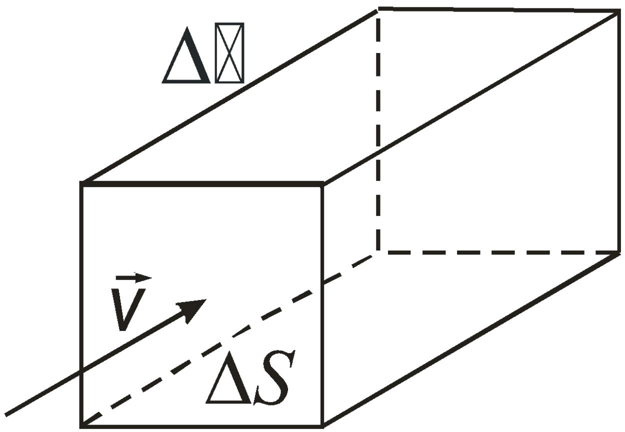
**Количество энергии, переносимое волной через некоторую поверхность в единицу времени, называется *потоком энергии волны*** $\Phi$ через эту поверхность:

$$\Phi = \frac{\Delta W}{\Delta t} \qquad [\Phi] = \text{Вт}.$$

Для характеристики переноса энергии в разных точках пространства вводится векторная величина, называемая **плотностью потока энергии** $\vec{j}$ **(вектор Умова)**.



**Умов Николай Алексеевич (1846 – 1915)**



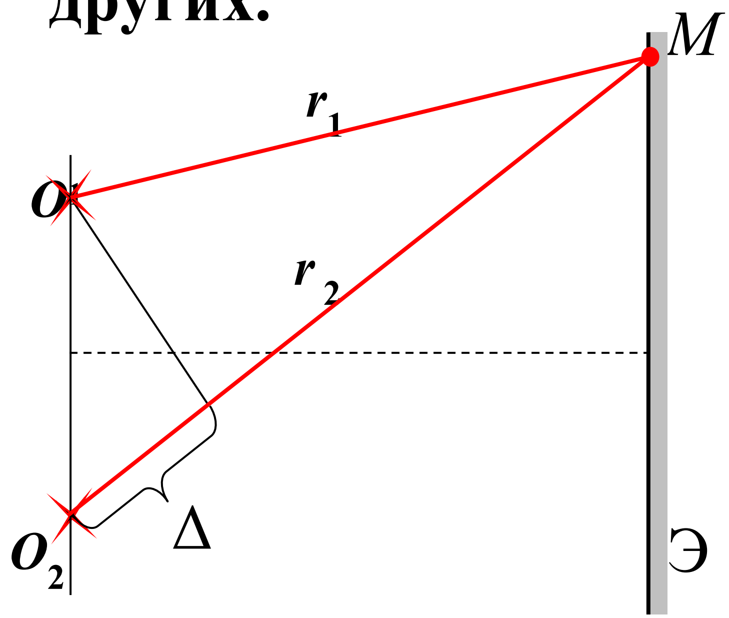

$$\vec{j} = w\vec{v} \quad \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right]$$

$$j = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} = \frac{\Delta W}{\Delta S\, \Delta t} = \frac{w \Delta S\, v \Delta t}{\Delta S\, \Delta t} = wv$$

**Направление вектора Умова совпадает с направлением переноса энергии, а его модуль равен энергии, переносимой волной за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны.**

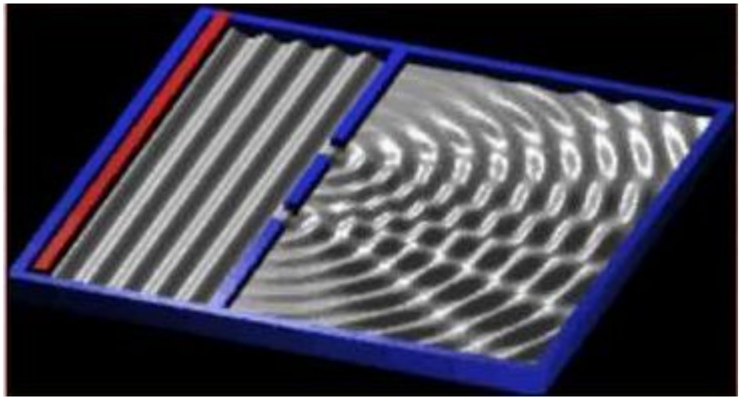
# Интерференция волн

**Интерференцией** называется наложение в пространстве двух (или нескольких) когерентных волн, при котором наблюдается устойчивая во времени картина усиления колебаний в одних точках и ослабления колебаний – в других.




**Волны одинаковой частоты ($\omega_1 = \omega_2 = \omega$) называют *когерентными*, если колебания, обусловленные этими волнами в каждой из точек среды, обладают постоянной разностью фаз.**

Схема интерференции от точечных **когерентных** источников $O_1$ и $O_2$



**При интерференции колебание в данной точке среды будет равно сумме колебаний:**

$$\xi_1 = A_1 \cdot \cos(\omega t - kr_1 + \alpha_1),$$
$$\xi_2 = A_2 \cdot \cos(\omega t - kr_2 + \alpha_2),$$

где $A_1$ и $A_2$ – ***амплитуды волн*** в рассматриваемой точке, $k$ – ***волновое число***, $r_1$ и $r_2$ – ***расстояния от источников волн до рассматриваемой точки***.

**Результат сложения колебаний зависит от разности хода Δ (разности фаз волн Δφ):**

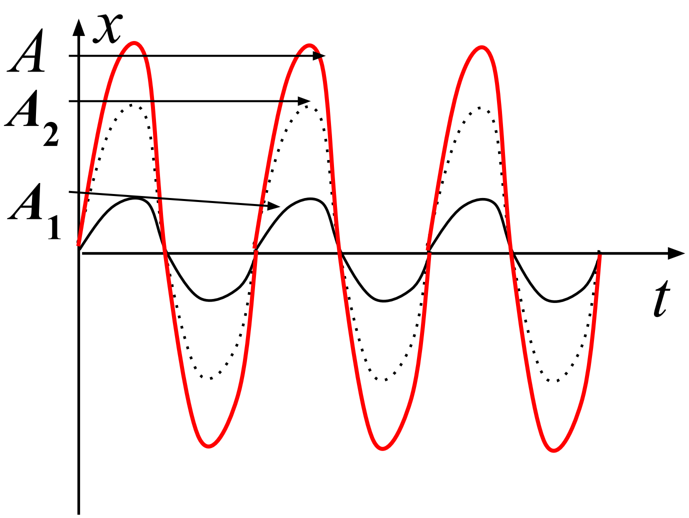
$$\Delta = r_2 - r_1 = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \lambda$$

**Условие интерференционного максимума:**

$$\Delta = \pm\, m\cdot\lambda = \pm\, 2m\cdot\lambda/2 \text{ (или } \Delta\varphi = \pm\, 2\pi m \text{ )}$$

$m = 0, 1, 2, 3, \ldots$ – ***порядок максимума***

**Колебания усиливают друг друга, и результирующее движение представляет собой гармоническое колебание частоты $\omega$ с амплитудой $(A_1 + A_2)$.**



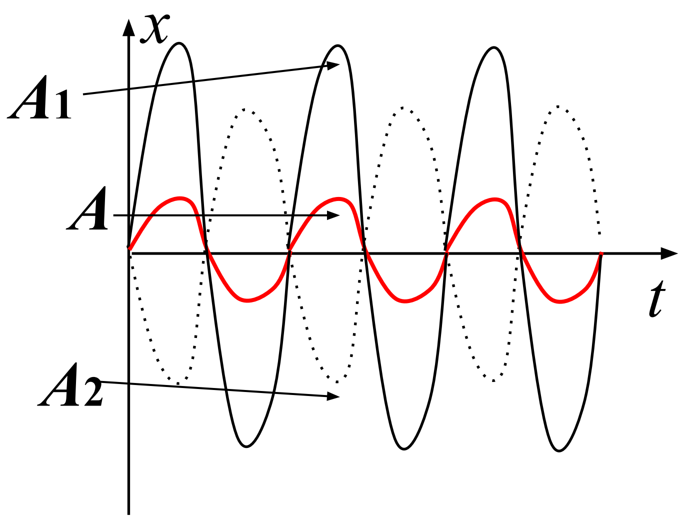

Усиление

## Условие интерференционного минимума:

$$\Delta = \pm(2m+1)\cdot\lambda/2 \quad (\text{или } \Delta\varphi = \pi \pm 2\pi m)$$

$m = 0, 1, 2, 3, \ldots$ – ***порядок минимума***

**Колебания ослабляют друг друга и результирующее движение является гармоническим колебанием с амплитудой $|A_1 - A_2|$. Если $A_1 = A_2$, то колебания в этих точках будут отсутствовать.**




Ослабление

## Стоячие волны

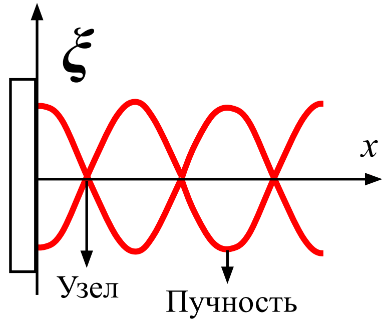
***Стоячие волны*** **являются частным случаем интерференции и образуются при наложении двух бегущих волн с одинаковыми частотами и амплитудами, распространяющихся навстречу друг другу.**

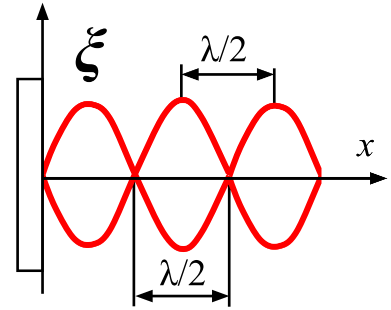
$$\xi_1 = A\cdot\cos(\omega t - kx)\,; \quad \xi_2 = A\cdot\cos(\omega t + kx)$$

$$\boxed{\xi = \xi_1 + \xi_2 = 2A\cos kx\cdot\cos\omega t}$$

$$\Rightarrow \quad \xi = 2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x\cdot\cos\omega t$$ – ***уравнение стоячей волны.***

$$A_{\text{ст}} = \left|\, 2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x \,\right|$$ – ***амплитуда стоячей волны.***




**Точки, в которых амплитуда колебаний максимальна ($A_{ст}$ = 2$A$), называются *пучностями* стоячей волны, а точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю ($A_{ст}$ = 0), – *узлами* стоячей волны.**

**Координаты пучностей:**

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = \pm\ m\pi \ \Rightarrow\ \boldsymbol{x_{\text{пуч}} = \pm\ m\frac{\lambda}{2}} \quad (m = 0, 1, 2, \ldots)$$

**Координаты узлов:**

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\pi \ \Rightarrow\ \boldsymbol{x_{\text{узл}} = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}}$$

$$(m = 0, 1, 2, \ldots)$$