Физика колебаний и волн. Квантовая физика.

Лекция № 1

1. ***Общие представления о волновых процессах. Волновое движение.***
2. ***Фазовая скорость и фронт волны.***
3. ***Плоские и сферические волны.***
4. ***Скалярное волновое уравнение.***

Виды и признаки колебаний

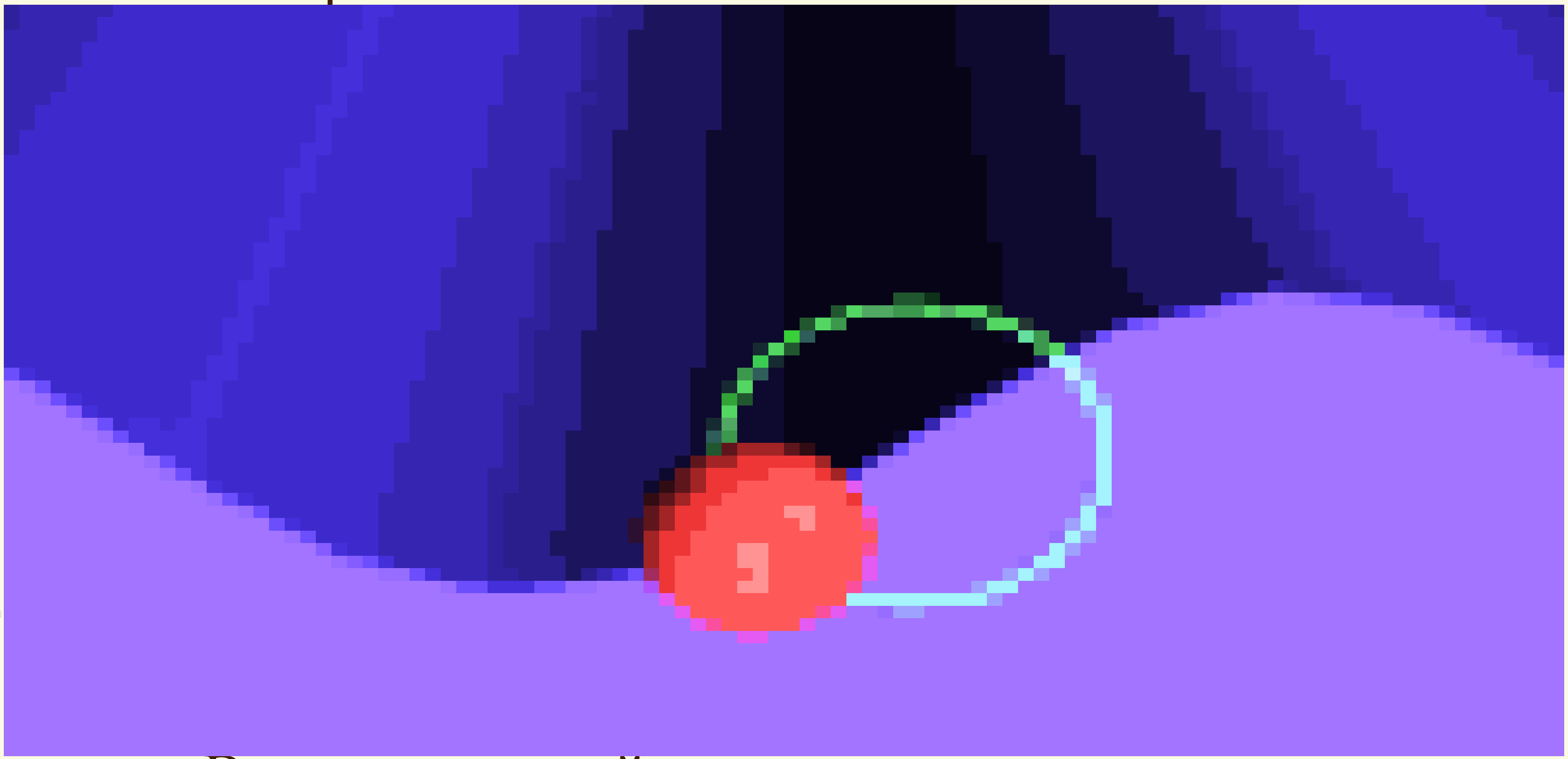
В физике особенно выделяют колебания двух видов – механические и электромагнитные и их электромеханические комбинации, поскольку они чрезвычайно актуальны для жизнедеятельности человека.

Для колебаний характерно превращение одного вида энергии в другую – кинетической в потенциальную, магнитной в электрическую и т.д.

Колебательным движением (или просто колебанием) называются процессы, ***повторяющиеся во времени.***

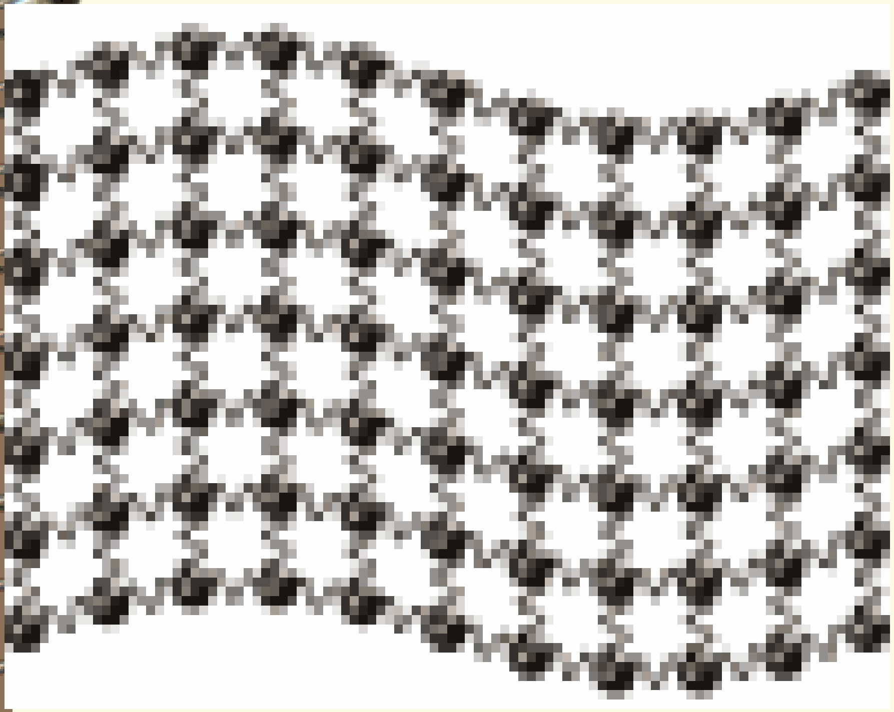
Существуют общие закономерности этих явлений.

При распространении волны, частицы среды не движутся вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия.

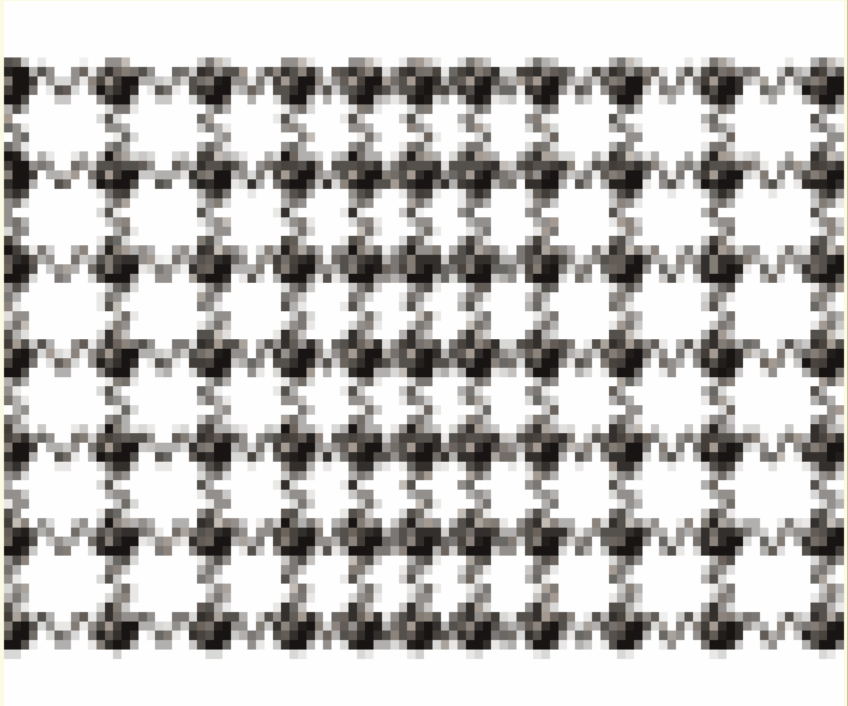


Вместе с волной от частицы к частице, передается лишь состояние колебательного движения и его энергия. Поэтому *основным свойством всех волн независимо от их природы является* *перенос энергии без переноса вещества*.

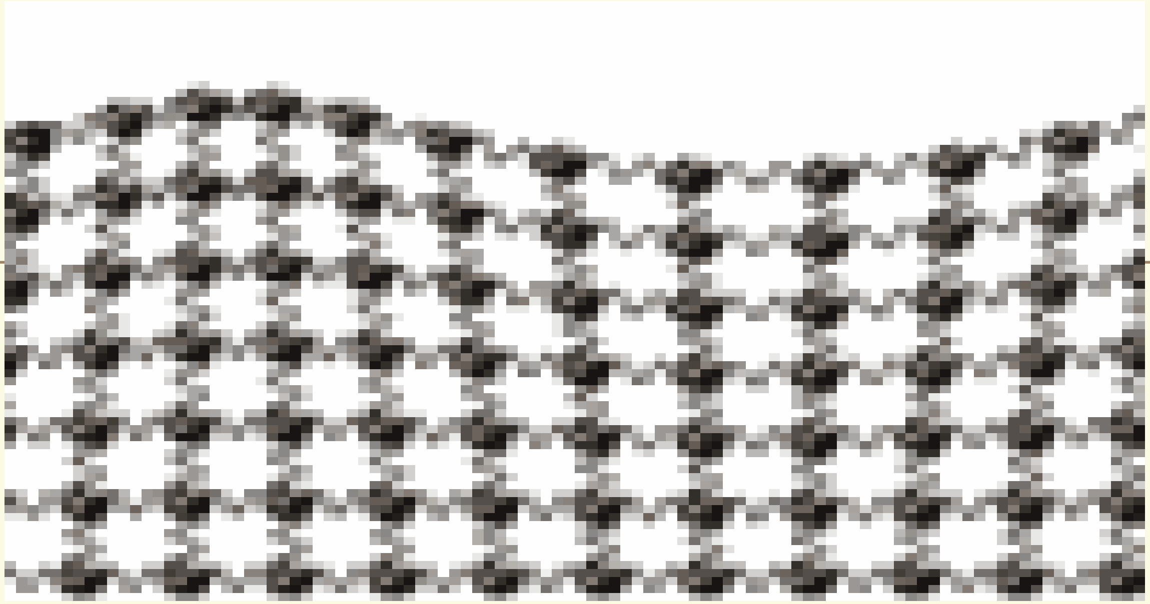
Волны бывают *поперечными* (колебания происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения), и *продольными* (сгущение и разряжение частиц среды происходят в направлении распространения).



В поперечной волне колебания происходят в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны

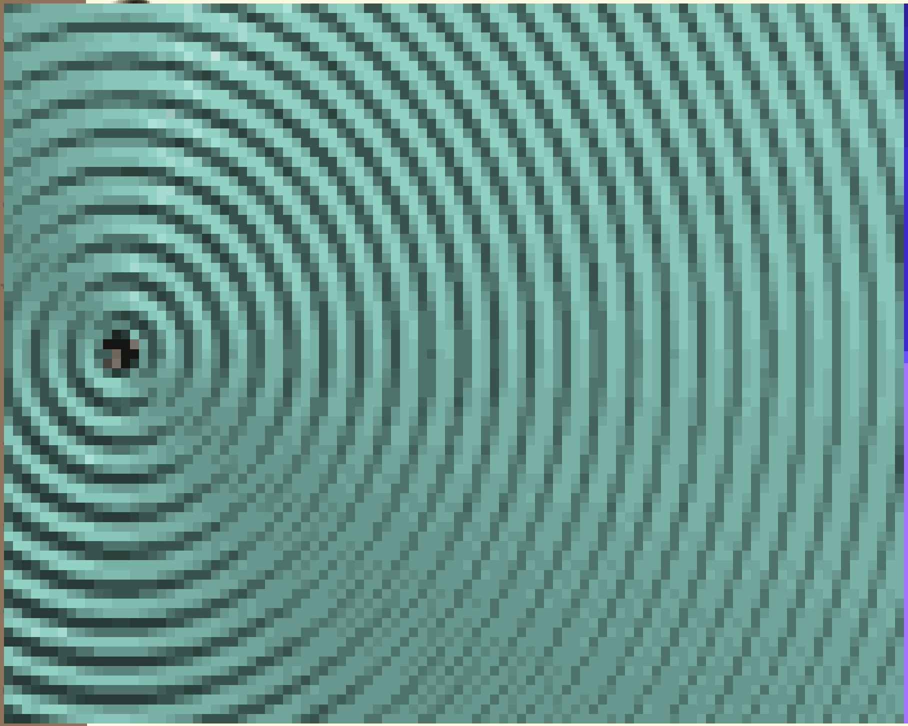


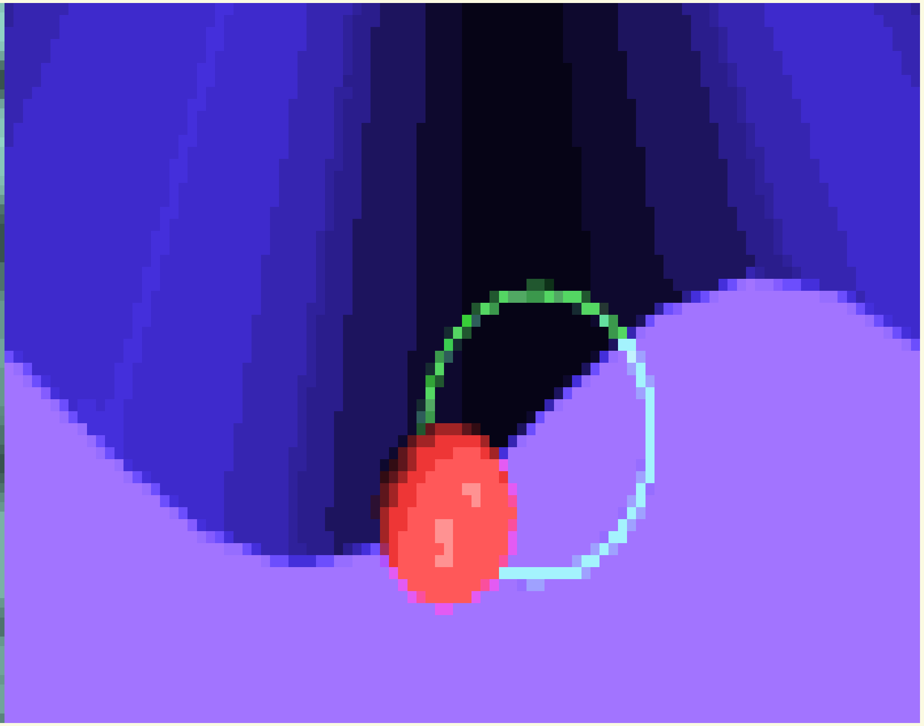
Процесс распространения продольной упругой волны



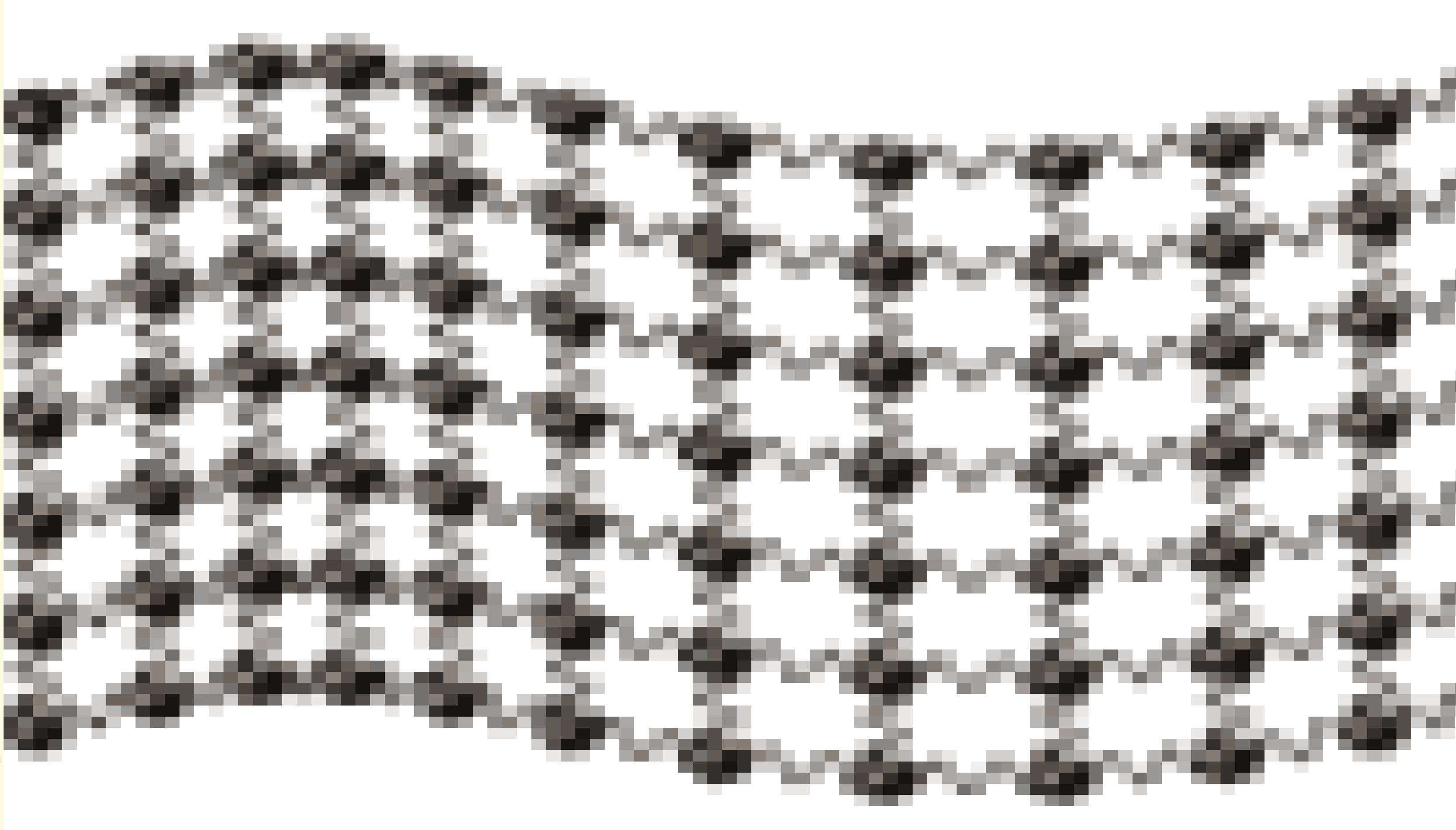
Движение молекул в волне на поверхности жидкости

У **поверхностных волн** взаимосвязь между соседними молекулами при передаче колебаний осуществляется **не силами упругости, а силами поверхностного натяжения и тяжести**. В случае малой амплитуды волны каждая **молекула движется по окружности, радиус которой убывает с расстоянием от поверхности**. Нижние молекулы находятся в покое.





Волна на поверхности жидкости – суперпозиция продольного и поперечного движения молекул



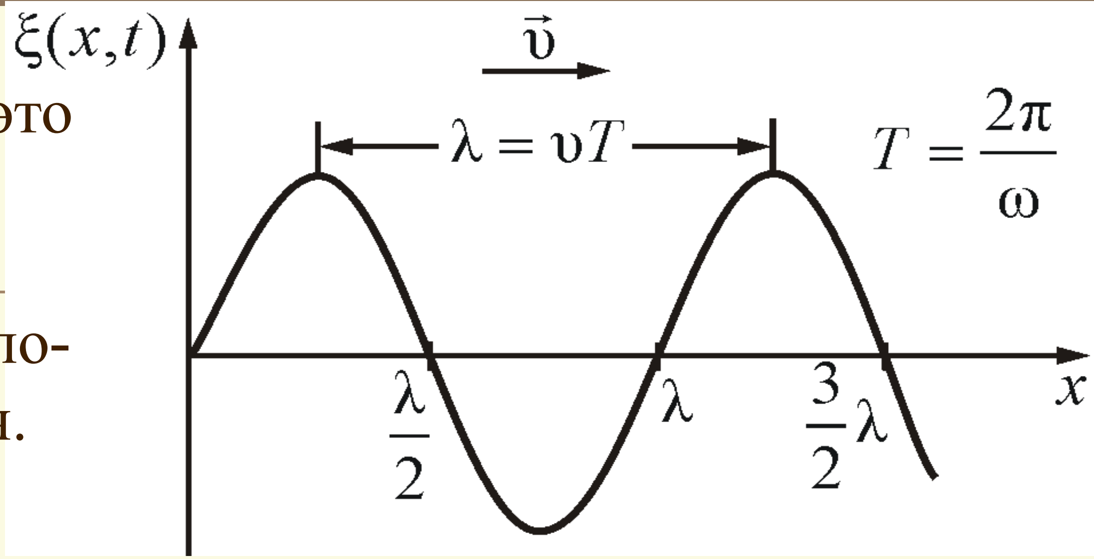
Наложение продольной и поперечной волн равной амплитуды, сдвинутых по фазе на π/2.

В результате каждая масса совершает круговые движения.

Волновая функция-это

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

смещение точек из положения равновесия.



Расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе, называется ***длиной волны λ***: $\lambda = \upsilon T$

$$T = \frac{1}{\nu}$$ – период,

ν – частота.

$$\upsilon = \lambda \nu$$ – скорость распространения волны.

В среде без дисперсии ***скорость распространения волны*** υ есть ***фазовая скорость*** или ***скорость распространения поверхности постоянной фазы***.

Фазовая скорость

– это скорость распространения фазы волны.

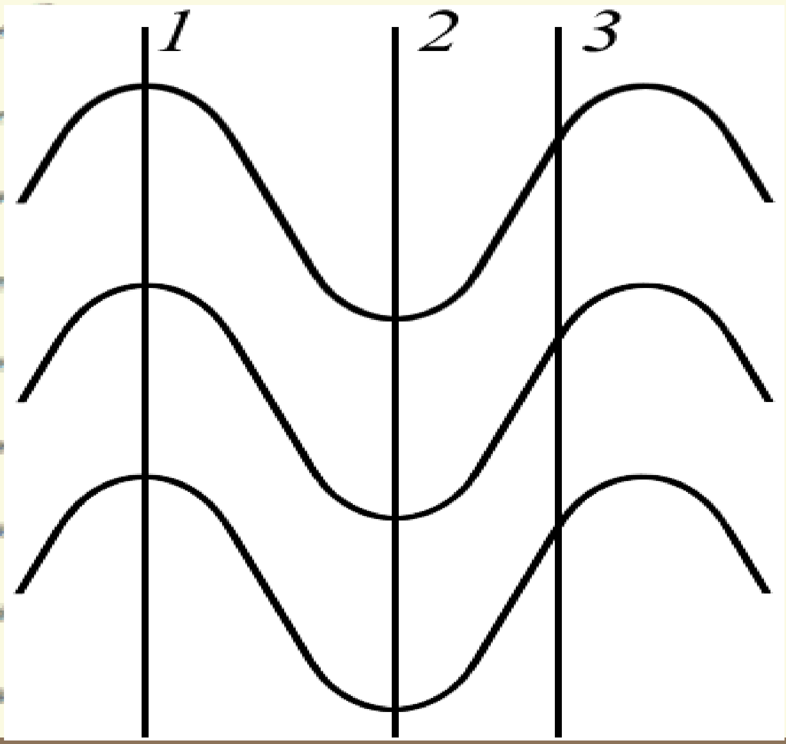
$$\boxed{\frac{dx}{dt} = \upsilon}$$

– скорость распространения фазы есть скорость распространения волны.

Для синусоидальной волны *скорость переноса энергии равна фазовой скорости.*

➢ ***Фронт волны*** – ***геометрическое место точек, до которых доходит возмущение в момент времени*** ***t*** : это та поверхность, которая отделяет часть пространства, уже вовлеченную в волновой процесс, от области, в которой колебания еще не возникли.

(*В однородной среде направление распространения перпендикулярно фронту волны*)



➢ *Волновая (фазовая) поверхность* – *геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе.*

➢ *Число волновых поверхностей – бесконечно.*

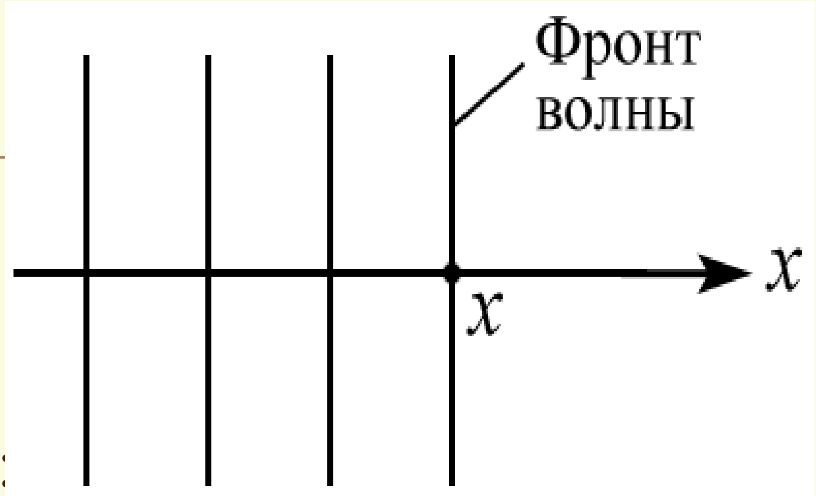
➢ *Фронт волны – один.*

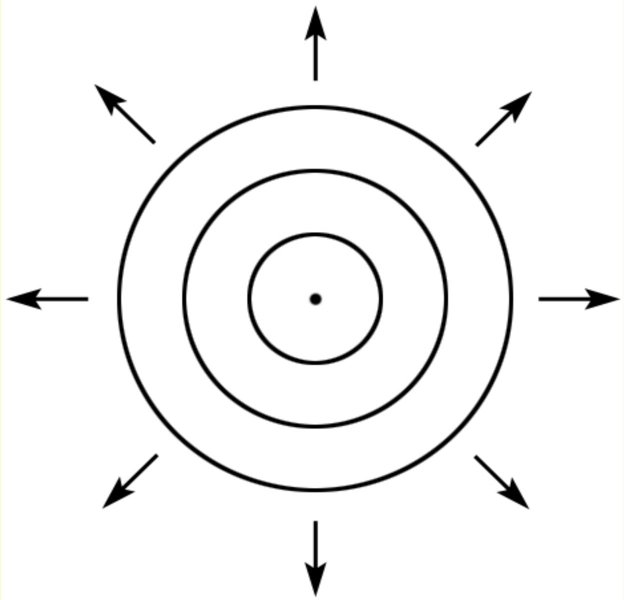
➢ *Волновые поверхности неподвижны,*

➢ *Фронт волны все время перемещается.*

В зависимости от формы волновой поверхности различают

•***плоские волны***: волновые поверхности – параллельные плоскости (источник-параллельный пучок лучей):





•***сферические волны***: волновые поверхности – концентрические сферы (источник точечный).

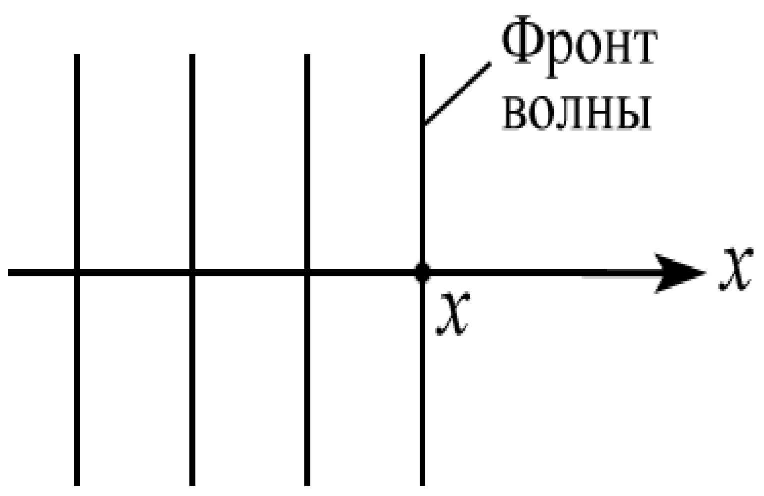
Уравнение плоской волны

Найдем вид волновой функции, ξ в случае плоской волны предполагая, что колебания источника носят гармонический характер:

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

Пусть $\varphi_0 = 0$ $\quad \xi = \xi(0, t) = A\cos\omega t$

Чтобы пройти волне путь x нужно время: $\tau = \dfrac{x}{\upsilon}$



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

– это ***уравнение плоской волны (смещение частиц в волне).***

Введем ***волновое число*** $\boxed{k = \dfrac{2\pi}{\lambda}}$

или в векторной форме волновой вектор: $\vec{k} = \dfrac{2\pi}{\lambda}\vec{n}$

Длина волны: $\lambda = \upsilon T$, то $k = \dfrac{2\pi}{\upsilon T} = \dfrac{2\pi\nu}{\upsilon} = \dfrac{\omega}{\upsilon}$

Фазовая скорость: $\boxed{\upsilon = \dfrac{\omega}{k}}$

Тогда ***уравнение плоской волны*** запишется:

$$\boxed{\xi = A\cos(\omega t - kx)}$$

Скорость смещения частиц в ***упругой волне*** будет:

$$\boxed{u_x = \frac{d\xi}{dt} = -A\omega\sin(\omega t - kx)}$$

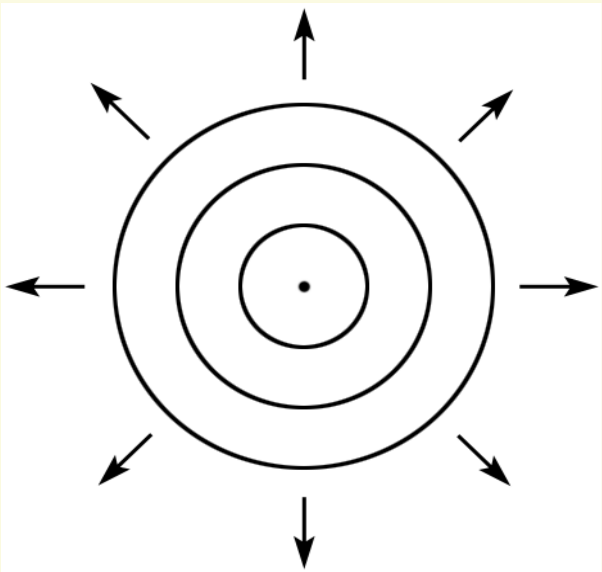
Уравнение сферической волны

Пусть начальная фаза $\varphi_0 = 0$

Амплитуда колебаний убывает по закону $A \sim \frac{1}{r}$

Уравнение сферической волны:

$$\xi = \frac{A}{r}\cos\omega\left(t - \frac{r}{\upsilon}\right)$$



или

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

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

При поглощении средой энергии волны:

$$\xi = \frac{A}{r}e^{-\beta t}\cos(\omega t - kr + \varphi_0)$$

β – коэффициент затухания.

Волновое уравнение

Распространение волн в однородной среде в общем случае *описывается волновым уравнением* – дифференциальным уравнением в частных производных (скалярное волновое уравнение):

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} - \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0$$

или

$$\boxed{\nabla^2 \xi - \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0}$$

Всякая функция, удовлетворяющая этому уравнению, описывает некоторую волну, причем υ *-фазовая скорость волны.*

Решением волнового уравнения

$$\nabla^2\xi - \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = 0$$

является уравнение *любой волны*, например:

сферической: $$\xi = \frac{A}{r}\cos(\omega t - kr)$$

или *плоской* : $$\xi = A\cos(\omega t - kr)$$

Для плоской волны, распространяющейся вдоль оси *x*, *волновое уравнение* упрощается:

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2} - \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = 0$$

где $\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа.


ЛЕКЦИЯ ЗАКОНЧЕНА!