



**Распространение волн в
упругих средах.
Уравнение гармонической бегущей волны**

Колебания и волны



Сегодня на уроке

1

Вспомним, что называется механической волной и каковы её основные свойства.

2

Поговорим об особенностях распространения волн в упругих средах.

3

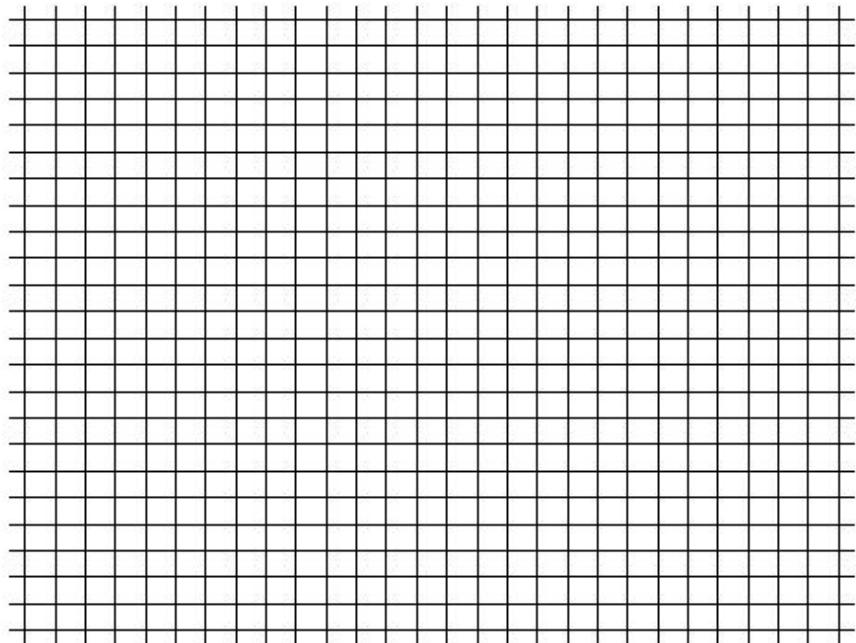
Получим уравнение бегущей монохроматической волны.

4

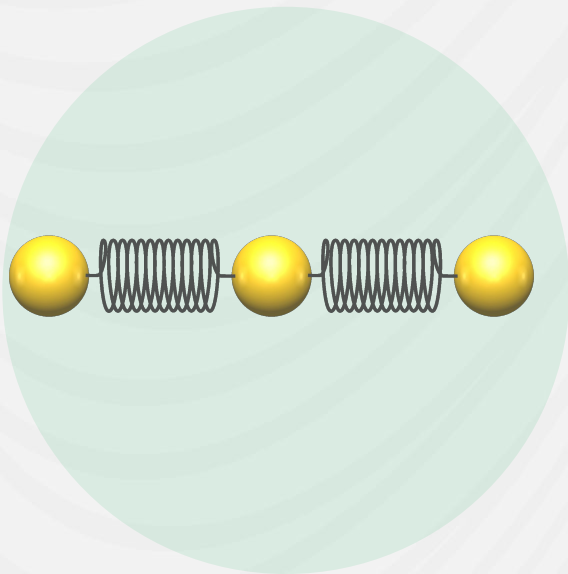
Рассмотрим некоторые особенности отражения механических волн.

Распространение волн в упругих средах

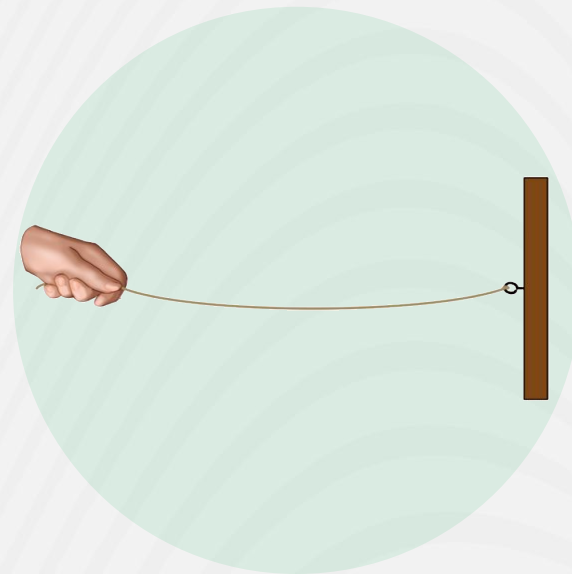
Механическая волна —
процесс распространения колебаний
в упругой среде с течением времени



Виды волн в зависимости от направления колебаний частиц



Продольные волны



Поперечные волны

Распространение волн в упругих средах

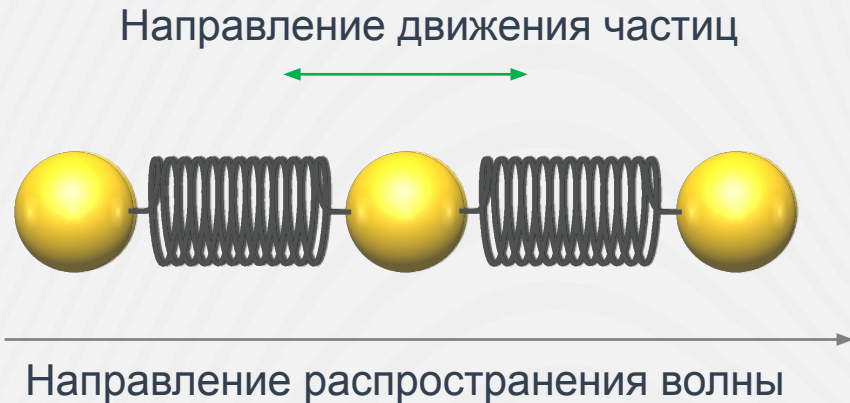
Продольная волна — волна, у которой колебания частиц совершаются вдоль направления распространения волны.



Распространение волн в упругих средах

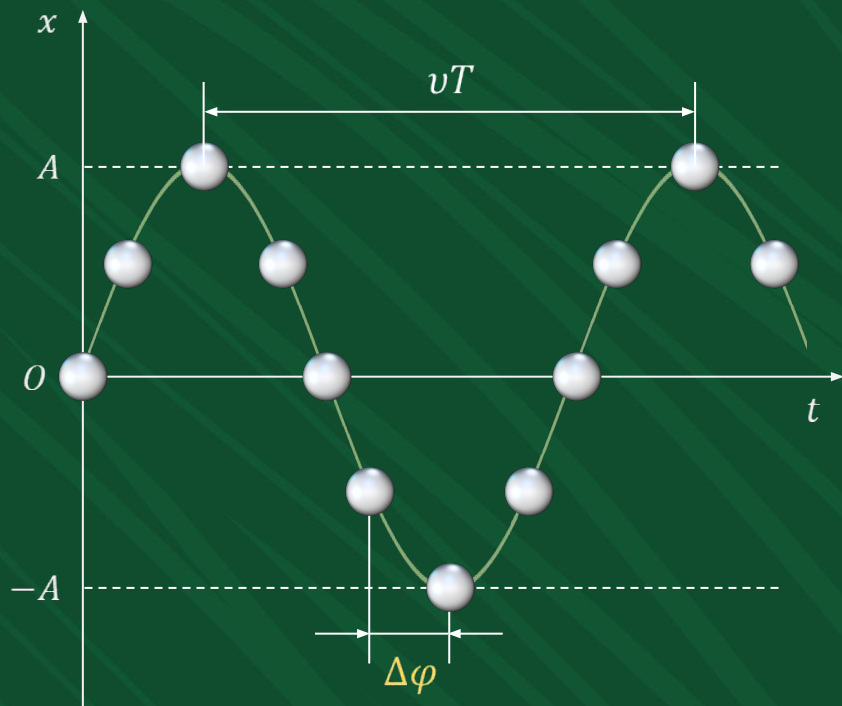
Поперечная волна —

волна, у которой колебания частиц совершаются в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.



Распространение волн в упругих средах

Амплитуда волны —
максимальное смещение
колеблющихся частиц среды от
положения равновесия.



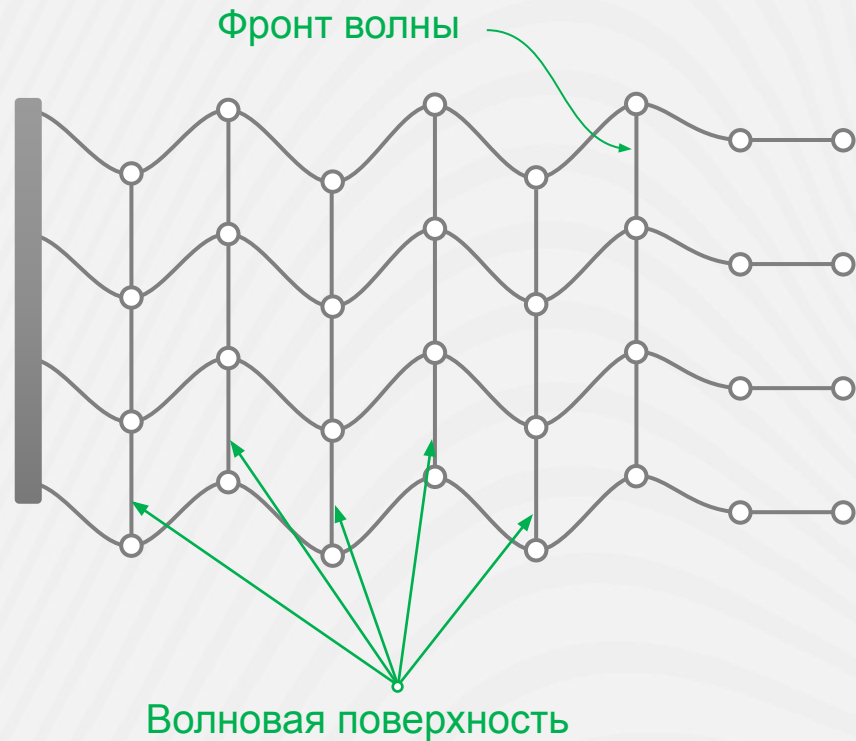
Распространение волн в упругих средах

Волновая поверхность —

геометрическое место точек,
колеблющихся в одинаковой фазе.

Фронт волны (волновой фронт) —

геометрическое место точек, до
которых доходят колебания к
данному моменту времени.

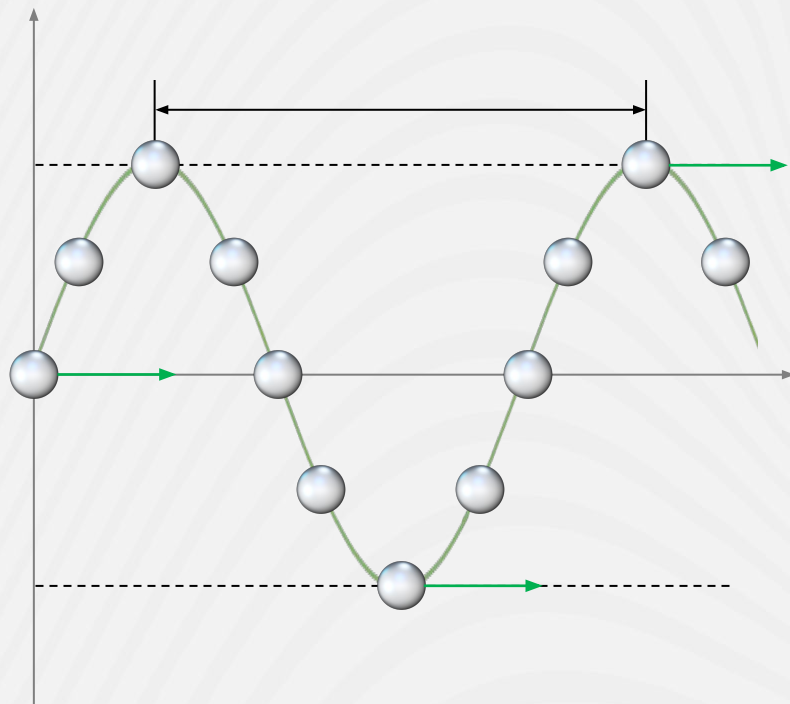


Распространение волн в упругих средах

Скорость распространения волны —

физическая величина, определяемая расстоянием, которое проходит любая точка фронта волны за единицу времени.

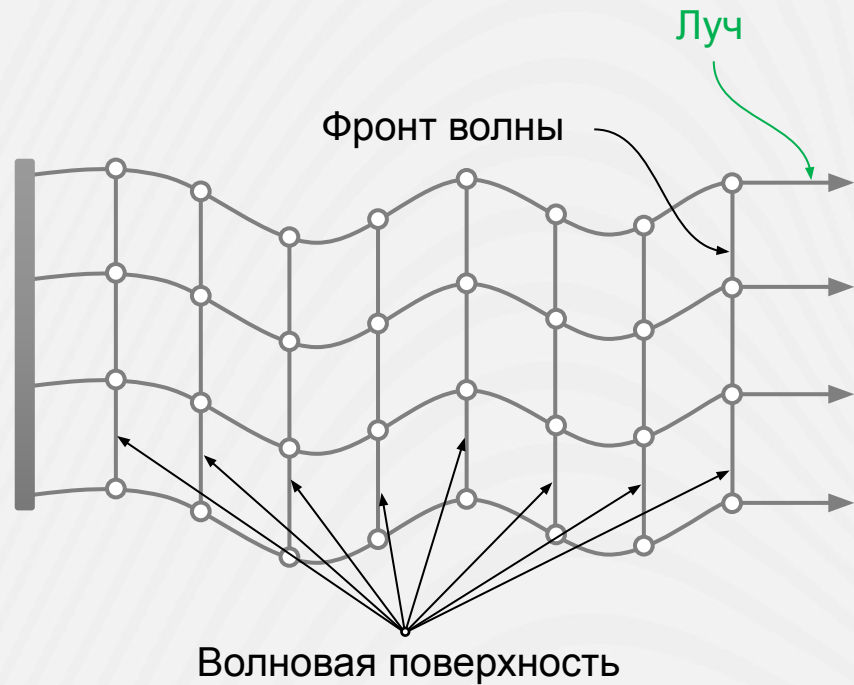
$$v = \frac{s}{\Delta t}$$



Распространение волн в упругих средах

Луч —

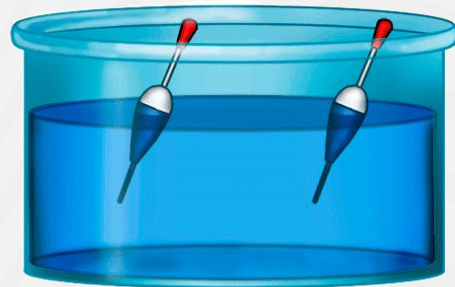
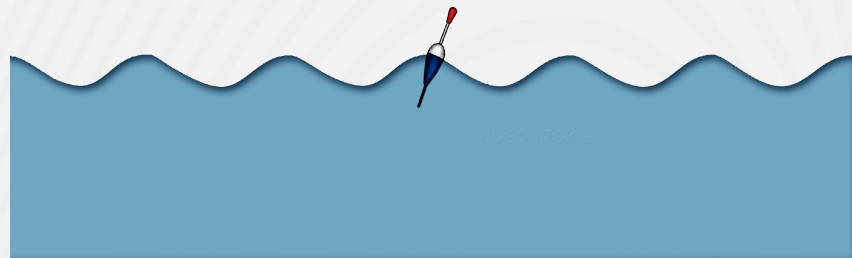
это линия, проведённая перпендикулярно волновому фронту в направлении распространения волны.



Распространение волн в упругих средах

Основное свойство волн:

при возбуждении волны происходит процесс распространения колебаний, но не перенос вещества.

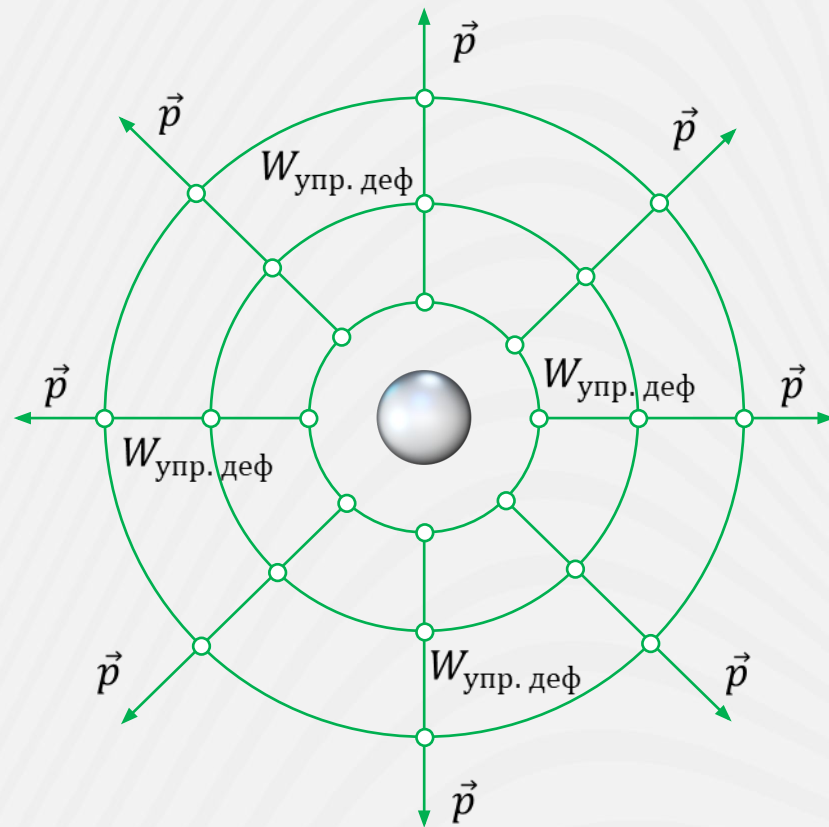


Распространение волн в упругих средах

Энергия волны в упругой среде —

это сумма кинетической энергии совершающих колебания частиц и потенциальной энергии упругой деформации среды.

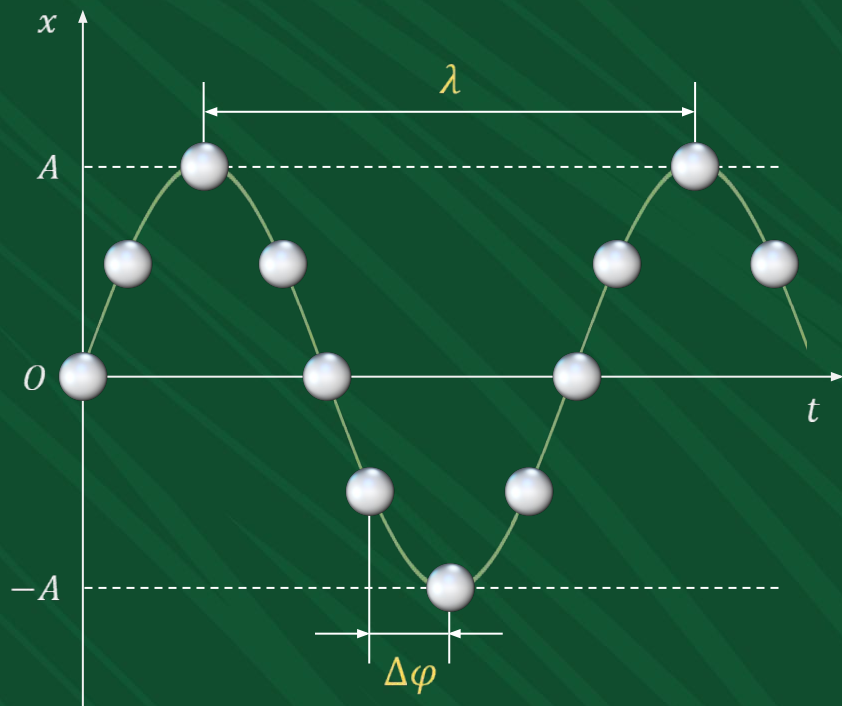
$$W = W_K + W_{\Pi}$$



Распространение волн в упругих средах

Длина волны —
расстояние между ближайшими
частицами, колеблющимися в
одинаковой фазе.

$$\lambda = vT$$



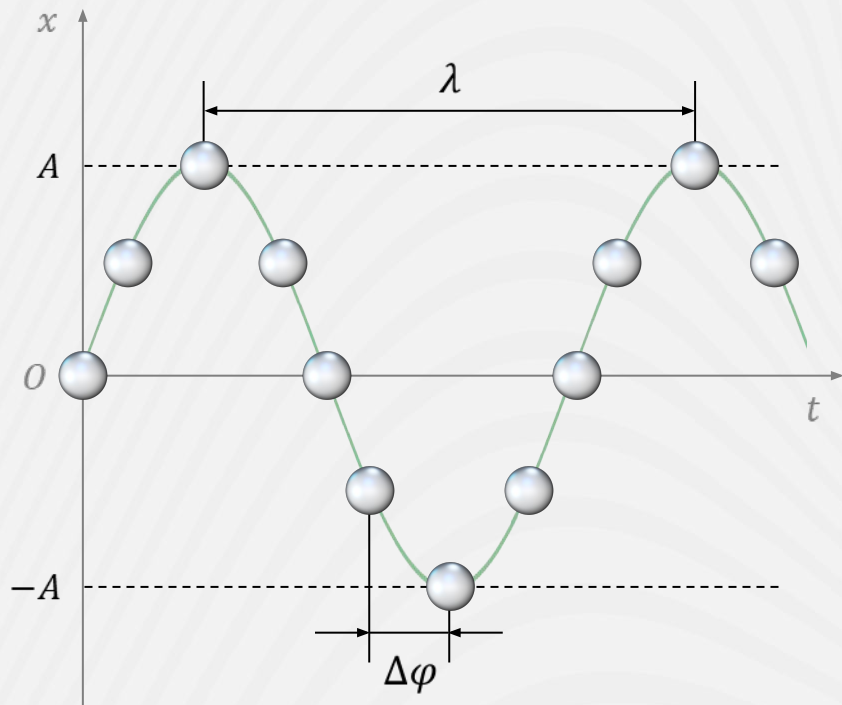
Распространение волн в упругих средах

Длина волны: $\lambda = vT$.

Период колебаний источника: $T = \frac{1}{\nu}$.

Скорость волны: $v = \lambda\nu \Rightarrow \lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{2\pi v}{\omega}$.

Циклическая частота: $\omega = 2\pi\nu \Rightarrow \nu = \frac{\omega}{2\pi}$.



Распространение волн в упругих средах

Скорость распространения
волны зависит от свойств
среды, поэтому волны одной и той
же частоты имеют различную длину
в разных средах.

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

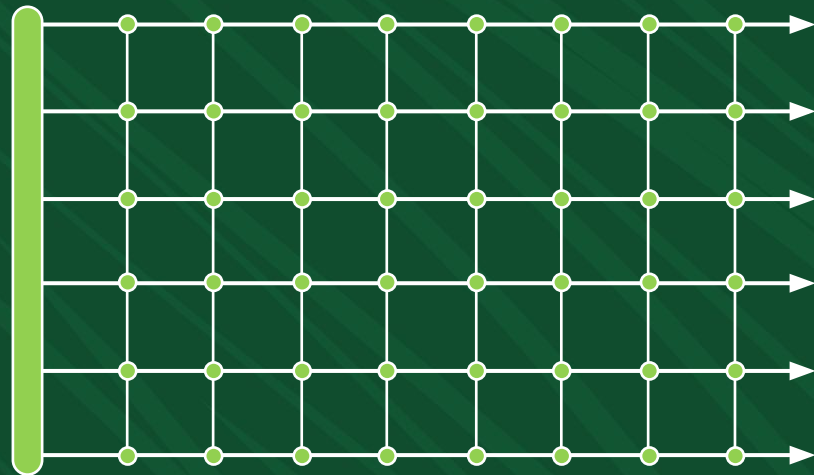
Длины звуковых волн в различных средах

Среда	Скорость волны, м/с	Частота колебаний, Гц	Длина волны, м
Сталь	5050	500	10,0
Лёд	3280	500	6,56
Вода	1500	500	3
Пробка	500	500	1
Воздух	340	500	0,68
Резина	50	500	0,1

Распространение волн в упругих средах

Плоская волна —

это волна, волновые поверхности которой представляют собой плоскости, перпендикулярные к направлению распространения волны.



Распространение волн в упругих средах

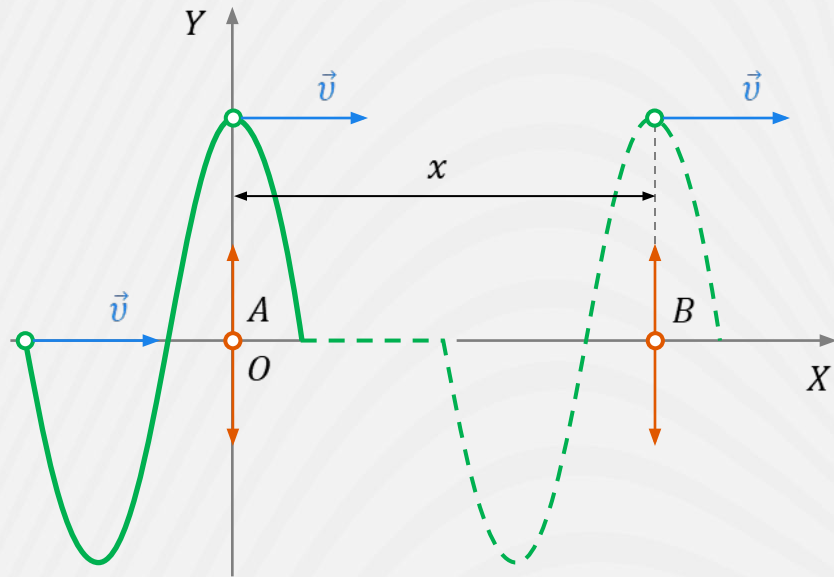
Уравнение гармонических колебаний вибратора: $s = s_m \sin \omega t$.

Время распространения колебаний:

$$\tau = \frac{x}{v}$$

Смещение точки среды с координатой x в момент времени τ :

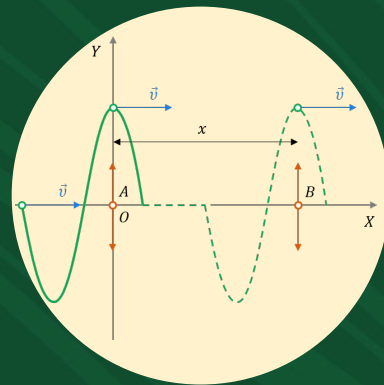
$$s = s_m \sin(\omega(t - \tau)) = s_m \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right) = s_m \sin\left(\omega t - \frac{\omega x}{v}\right).$$



Уравнение плоской бегущей монохроматической волны

Смещение любой точки среды из равновесного положения при прохождении волны является функцией двух переменных: времени и расстояния до равновесного положения точки среды.

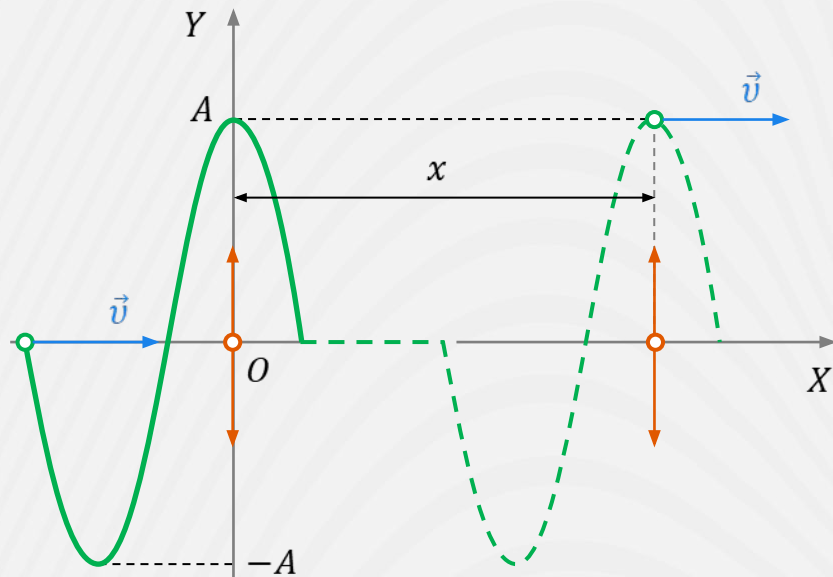
$$s = s_m \sin \left(\omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$



Следствия из уравнения бегущей волны

1

Амплитуда плоской незатухающей волны в данной точке среды постоянна и равна амплитуде колебаний источника.

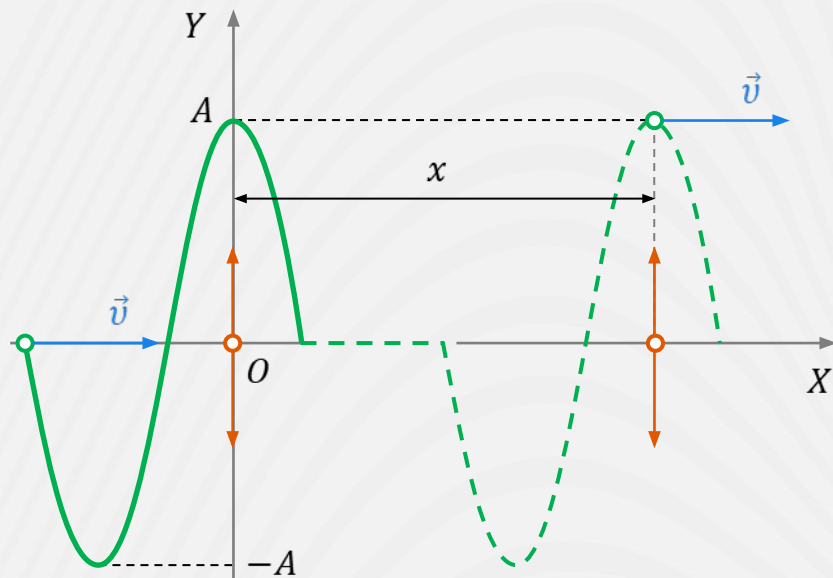


$$s = s_m \sin \left(\omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$

Следствия из уравнения бегущей волны

2

Любая точка среды совершает гармонические колебания, начальная фаза которых зависит от удаления данной точки от источника колебаний.

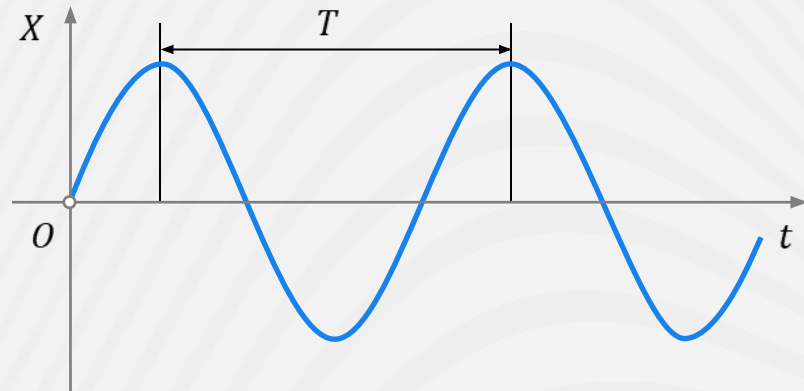
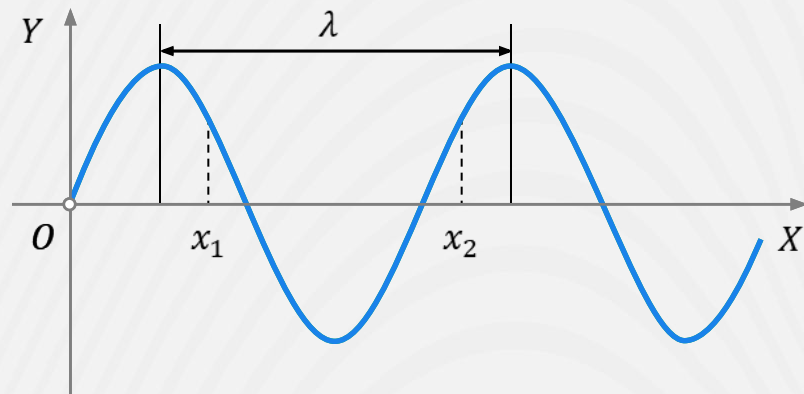


$$s = s_m \sin \left(\omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$

Следствия из уравнения бегущей волны

3

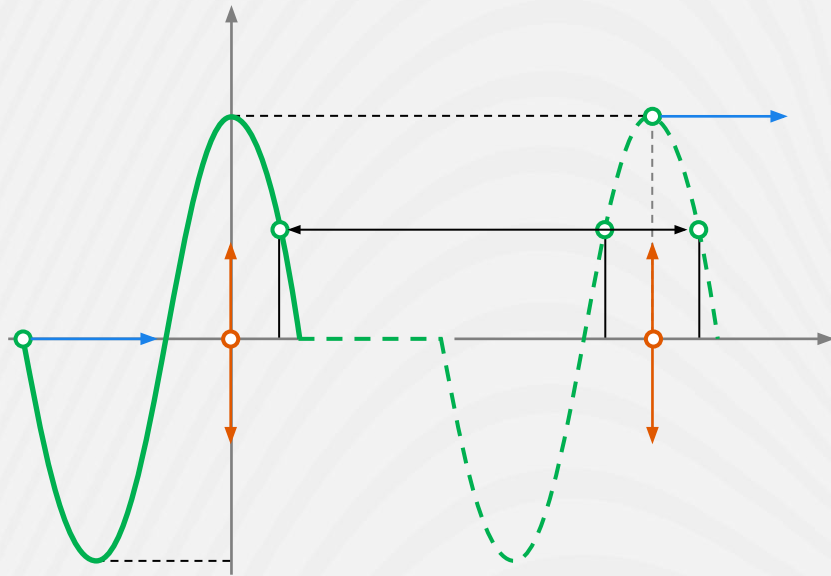
Положения колеблющихся точек среды в некоторый фиксированный момент времени описываются уравнением $s = s_m \sin(\omega x/v + \beta)$, где $\beta = -\omega t$.



Распространение волн в упругих средах

Уравнения колебаний точек:

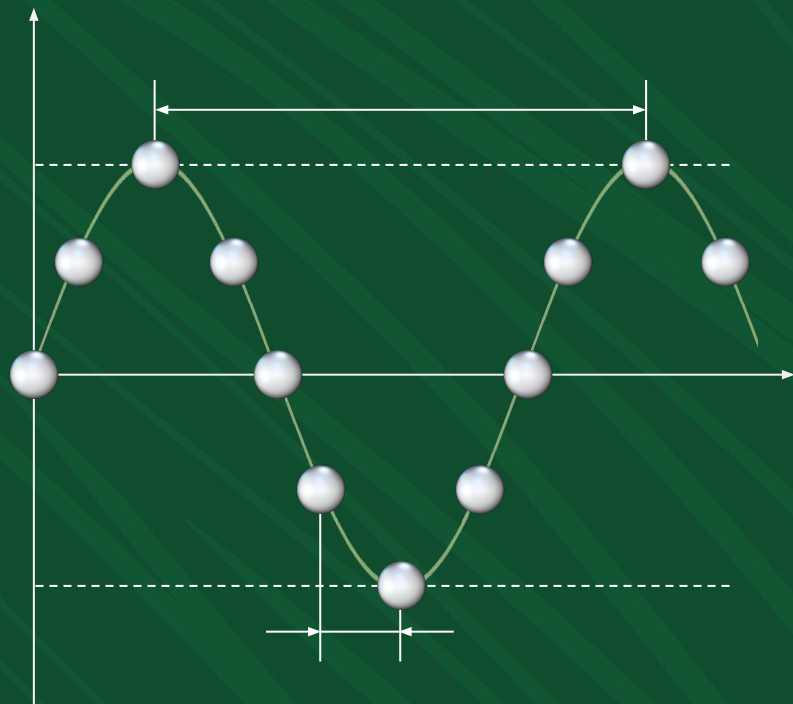
Разность фаз:



Циклическая частота:

Распространение волн в упругих средах

Длина волны —
расстояние между ближайшими
частицами, колеблющимися в
одинаковой фазе.



Задача 1. Определите частоту звуковых колебаний в воздухе, если расстояние между двумя ближайшими точками волны, отличающимися по фазе на $\Delta\varphi = \pi$, составляет 50 см. Скорость звука в воздухе принять равной 340 м/с.

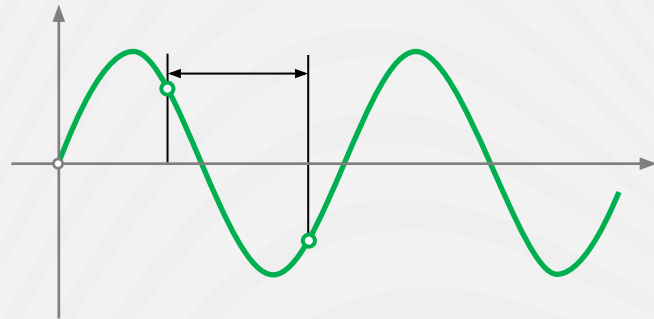
ДАНО

РЕШЕНИЕ

Частота колебаний:

Разность фаз между колебаниями двух точек волны:

Длина волны:



ОТВЕТ: частота звуковых колебаний в воздухе равна 340 Гц.

Задача 2. Определите длину волны, если смещение от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии 5 см от источника, через $T/6$ равно половине амплитуды.

ДАНО

РЕШЕНИЕ

Уравнение плоской бегущей волны:

Циклическая частота:

Длина волны:

ОТВЕТ: длина волны равна 60 см.

Задача 3. Поперечные волны распространяются вдоль натянутого шнура. Расстояние между ближайшими точками, имеющими одинаковые отличные от нуля смещения, равно 25 см. Найдите длину волны, если фазы колебаний точек в этот момент относятся как 1 : 2.

ДАНО

РЕШЕНИЕ

Разность фаз колебаний точек:

Уравнение плоской бегущей волны:

По условию

Разность фаз колебаний:



ОТВЕТ: длина волны, распространяющейся вдоль шнура, равна 1,5 м.

Выводы

Распространение волн в упругих средах

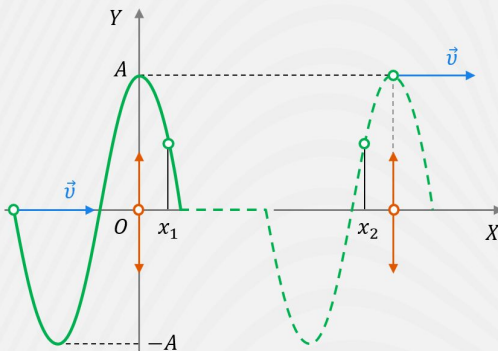
Уравнения колебаний точек:

$$s_1 = s_m \sin\left(\omega\left(t - \frac{x_1}{v}\right)\right); \quad s_2 = s_m \sin\left(\omega\left(t - \frac{x_2}{v}\right)\right).$$

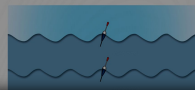
Разность фаз:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \varphi_1 - \varphi_2 = \omega\left(t - \frac{x_1}{v}\right) - \omega\left(t - \frac{x_2}{v}\right) = \\ &= \omega t - \frac{\omega x_1}{v} - \omega t + \frac{\omega x_2}{v} = \frac{\omega}{v}(x_2 - x_1) = \\ &= \frac{2\pi}{vT}(x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1). \end{aligned}$$

Циклическая частота: $\omega = \frac{2\pi}{T}$.



Распространение волн в упругих средах



Механическая волна —

Распространение волн в упругих средах



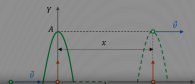
Скорость распространения волн — физическая величина, определя-

Уравнение плоской бегущей монохроматической волны



Смещение любой точки среды из равновесного положения при прохождении волны является функцией двух переменных:

Следствия из уравнения бегущей волны



1 амплитуда плоской незатухающей волны в данной точке среды постоянна и равна амплитуде колебаний источника;

Распространение волн в упругих средах

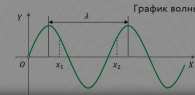
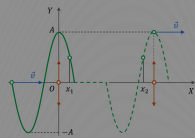


График волны — «моментальный снимок» волны.

Распространение волн в упругих средах



Уравнения колебаний точек:

$$s_1 = s_m \sin\left(\omega\left(t - \frac{x_1}{v}\right)\right); \quad s_2 = s_m \sin\left(\omega\left(t - \frac{x_2}{v}\right)\right).$$

Разность фаз:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \omega\left(t - \frac{x_1}{v}\right) - \omega\left(t - \frac{x_2}{v}\right) =$$

$$= \omega t - \frac{\omega x_1}{v} - \omega t + \frac{\omega x_2}{v} = \frac{\omega}{v}(x_2 - x_1) =$$

$$= \frac{2\pi}{vT}(x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1).$$

Циклическая частота: $\omega = \frac{2\pi}{T}$.