



**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

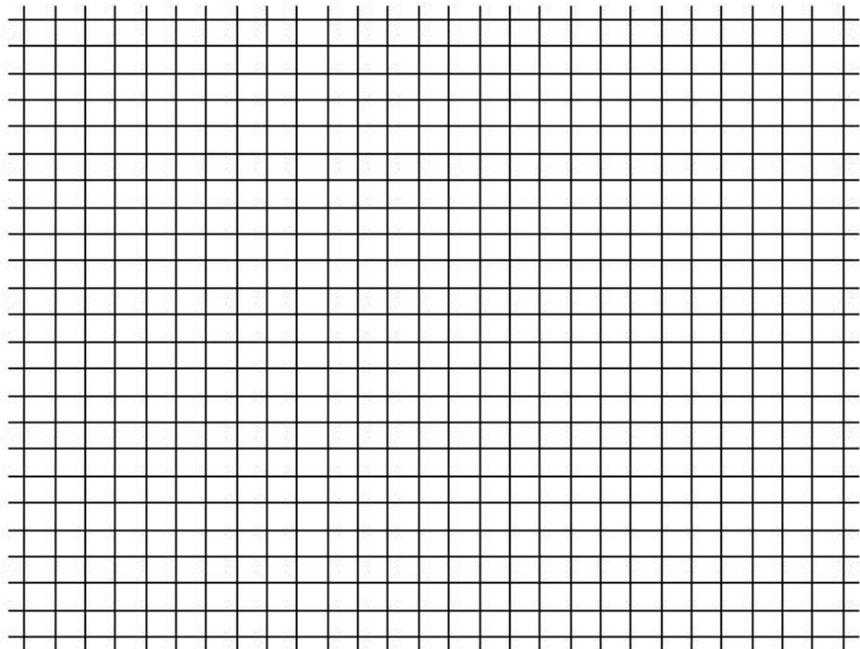
Получим уравнение бегущей монохроматической волны.

4

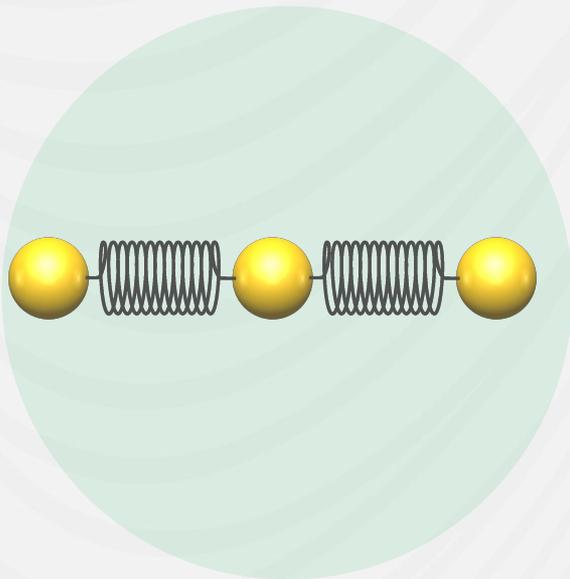
Рассмотрим некоторые особенности отражения механических волн.

# Распространение волн в упругих средах

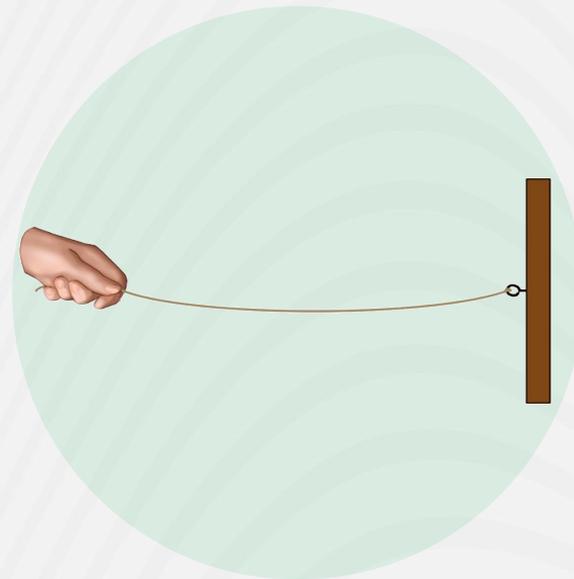
**Механическая волна** —  
процесс распространения колебаний  
в упругой среде с течением времени



# Виды волн в зависимости от направления колебаний частиц



Продольные волны



Поперечные волны

# Распространение волн в упругих средах

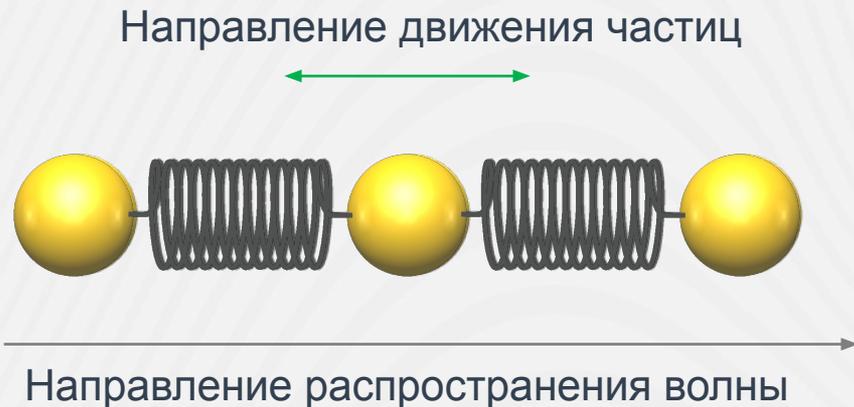
**Продольная волна** — волна, у которой колебания частиц совершаются вдоль направления распространения волны.



# Распространение волн в упругих средах

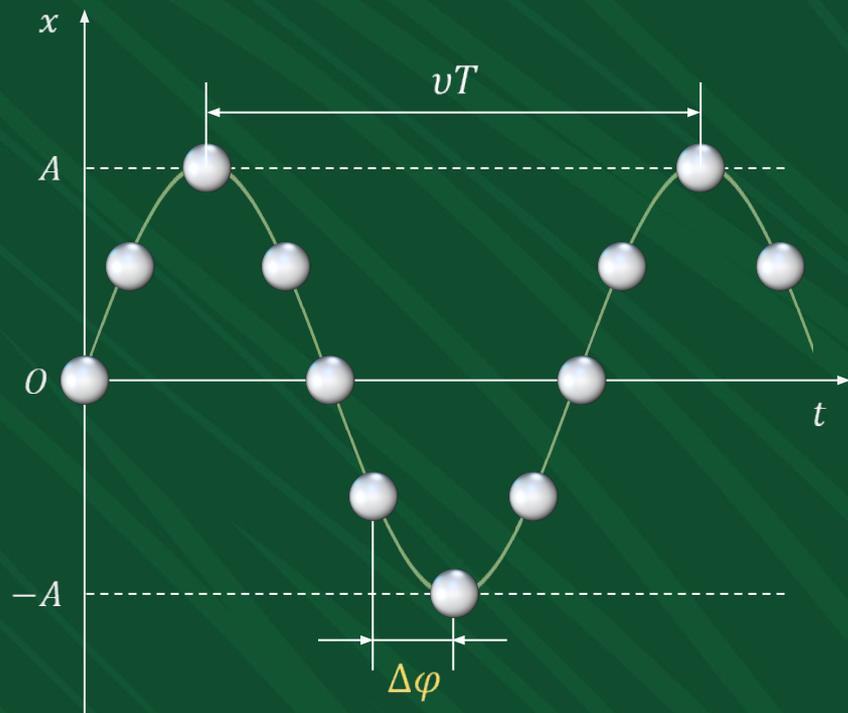
## Поперечная волна —

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



# Распространение волн в упругих средах

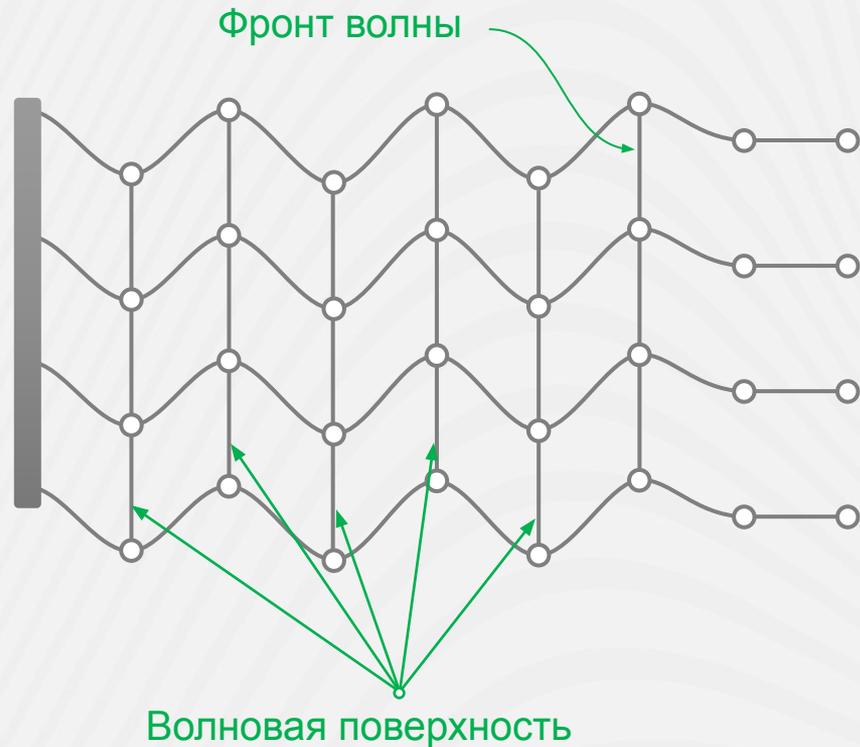
**Амплитуда волны** —  
максимальное смещение  
колеблющихся частиц среды от  
положения равновесия.



# 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.

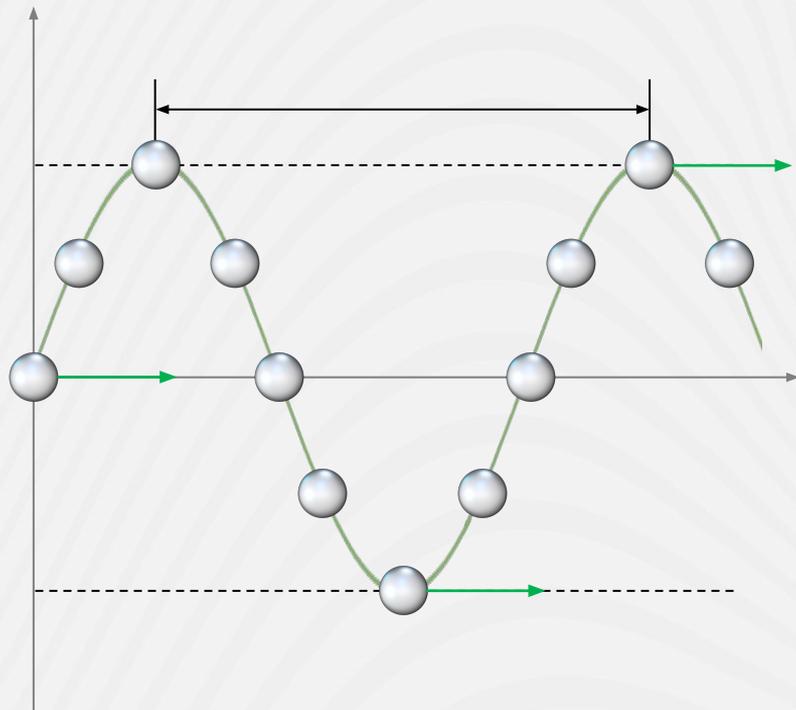


# Распространение волн в упругих средах

## Скорость распространения волны —

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

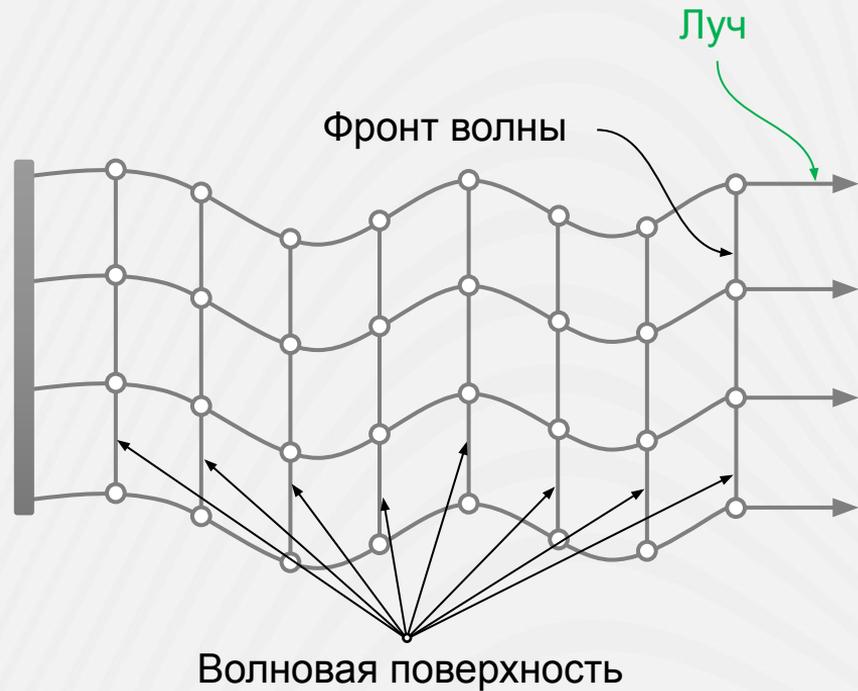
$$v = \frac{s}{\Delta t}$$



# Распространение волн в упругих средах

**Луч** —

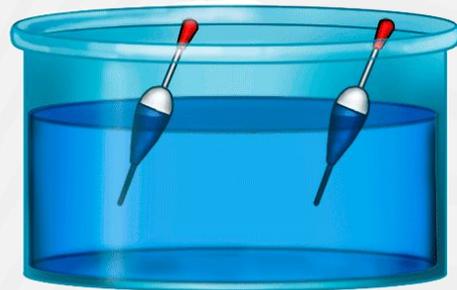
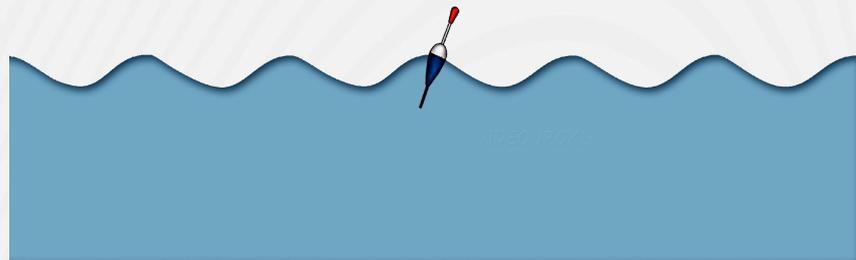
это линия, проведённая перпендикулярно волновому фронту в направлении распространения волны.



# Распространение волн в упругих средах

## Основное свойство волн:

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

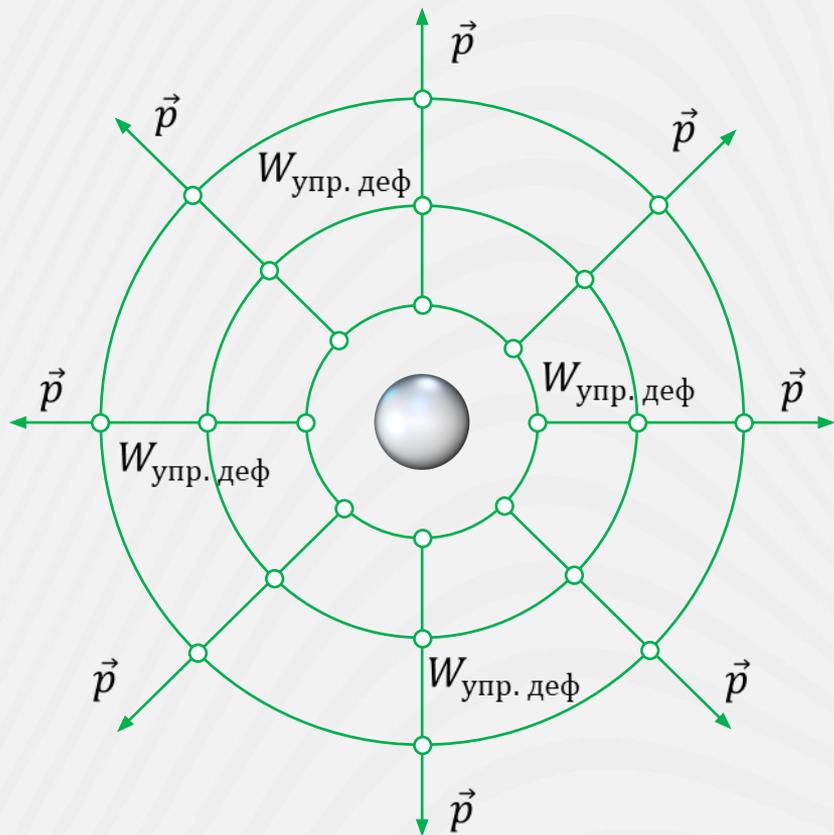


# Распространение волн в упругих средах

## Энергия волны в упругой среде —

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

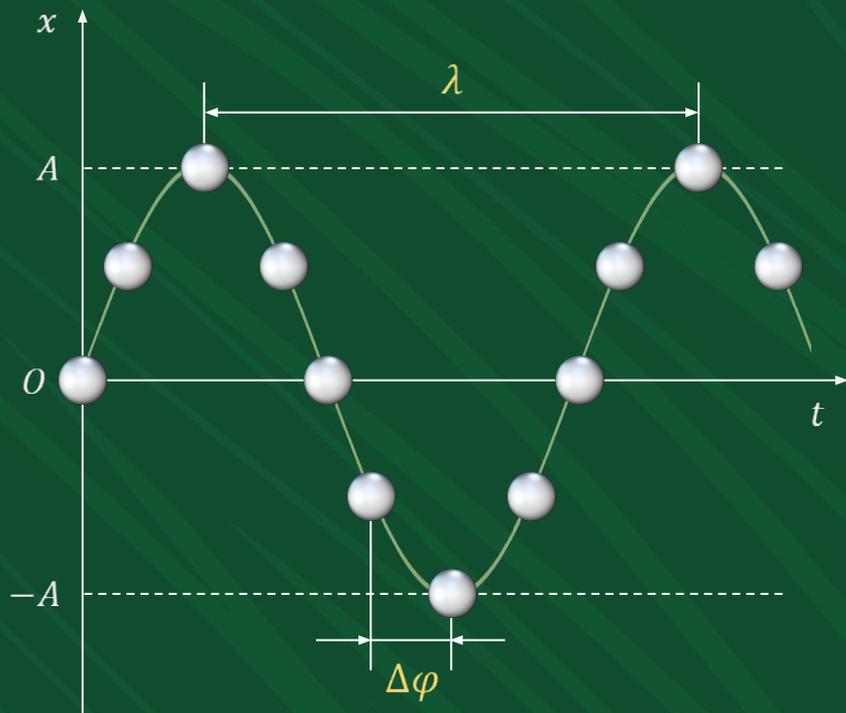
$$W = W_K + W_{\Pi}$$



# Распространение волн в упругих средах

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

$$\lambda = vT$$



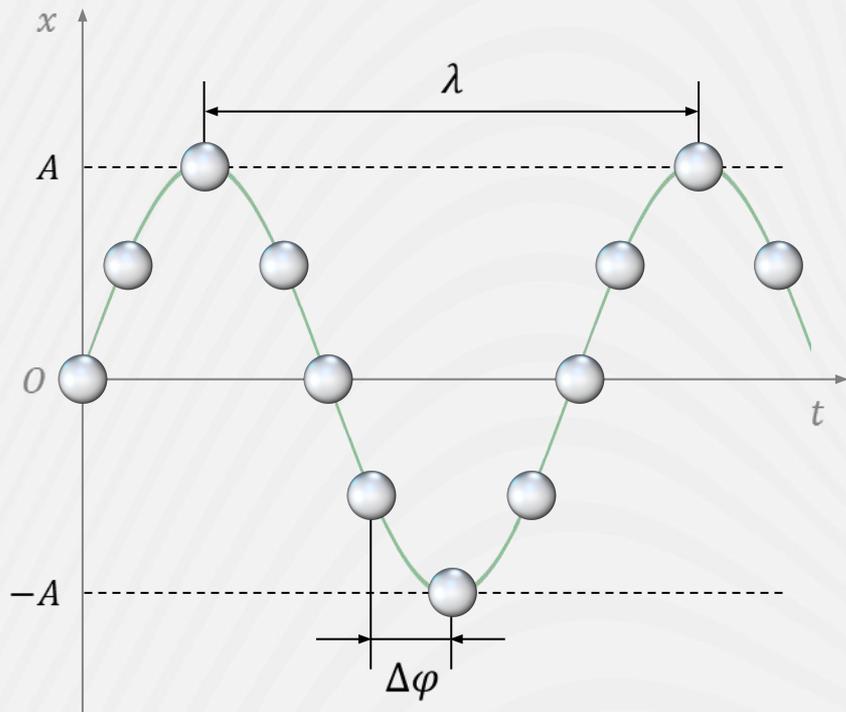
# Распространение волн в упругих средах

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.

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

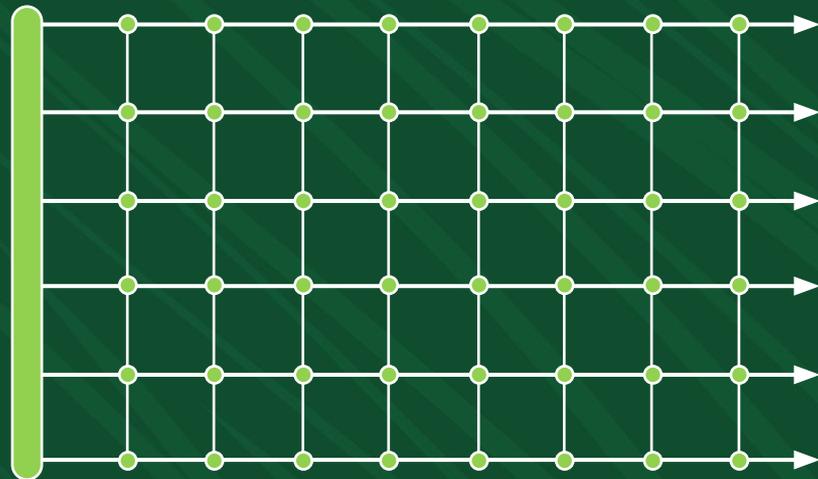
## Длины звуковых волн в различных средах

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:  $s = s_m \sin \omega t$ .

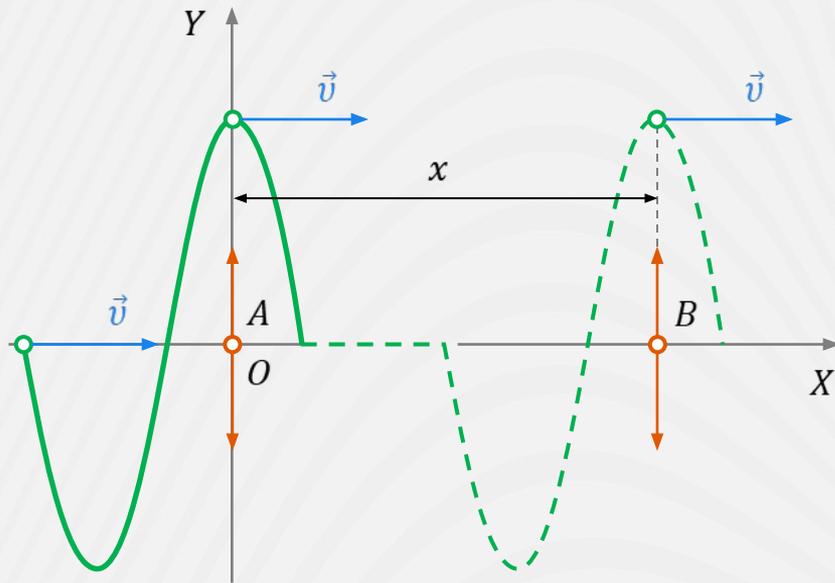
Время распространения колебаний:

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

Смещение точки среды с координатой  $x$  в момент времени  $\tau$ :

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

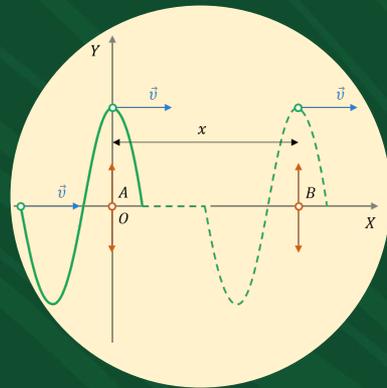
$$= s_m \sin\left(\omega t - \frac{\omega x}{v}\right).$$



# 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.

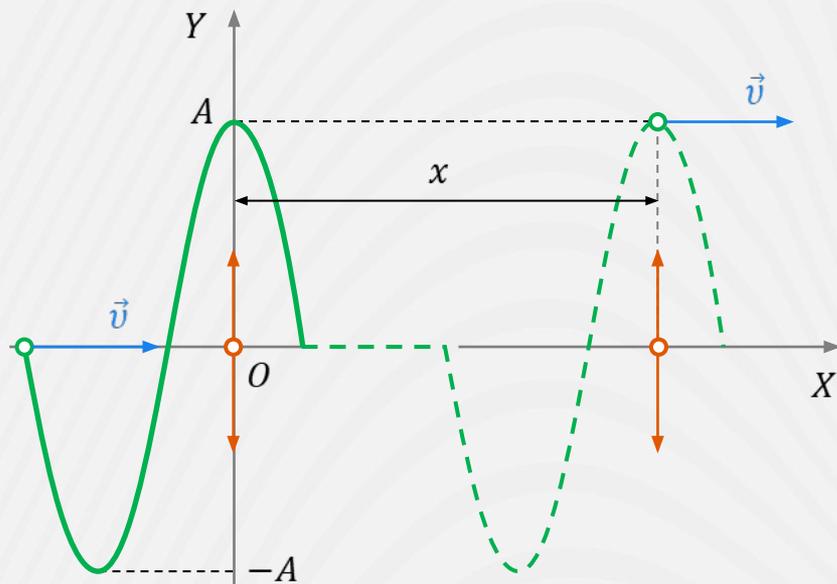
$$s = s_m \sin \left( \omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$



# Следствия из уравнения бегущей волны

1

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

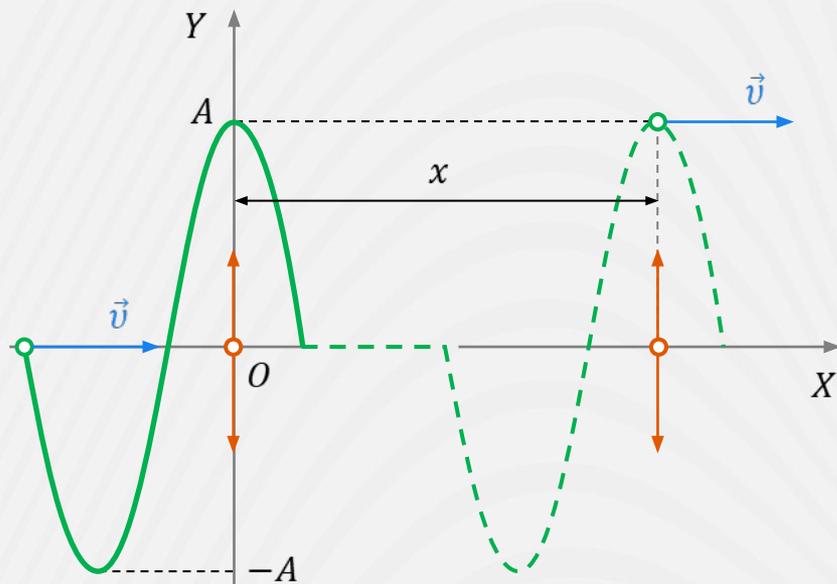


$$s = s_m \sin \left( \omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$

# Следствия из уравнения бегущей волны

2

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

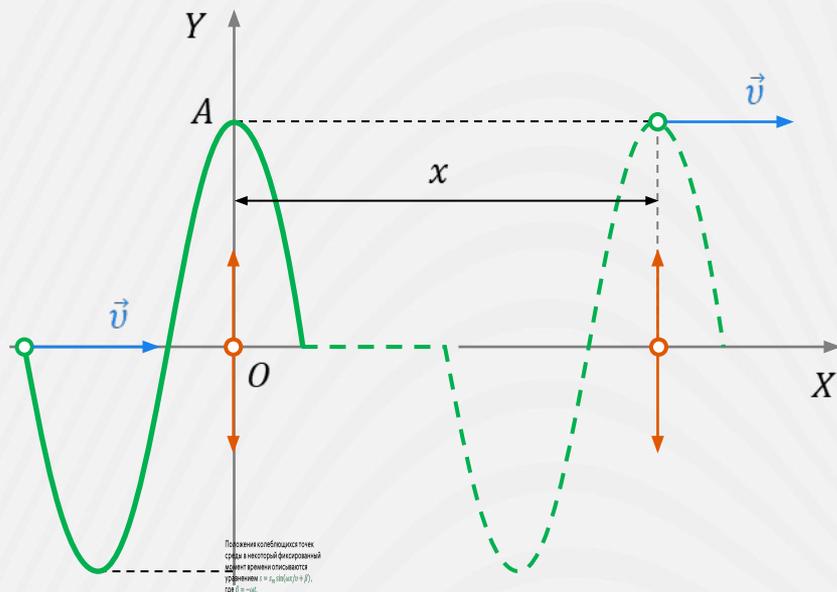


$$s = s_m \sin \left( \omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$

# 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  $\beta = -\omega t$ .

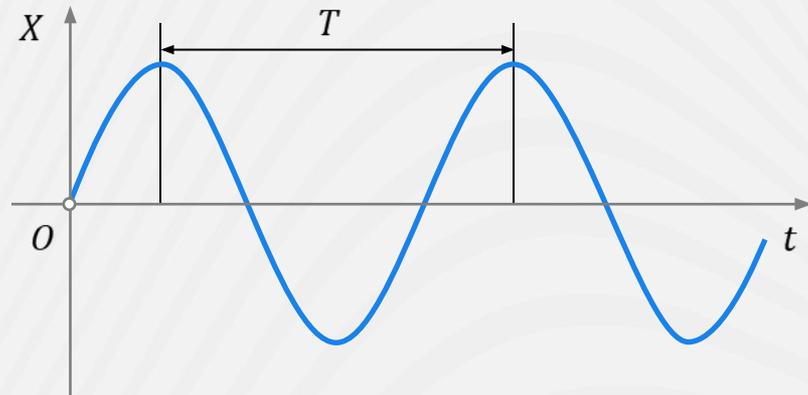
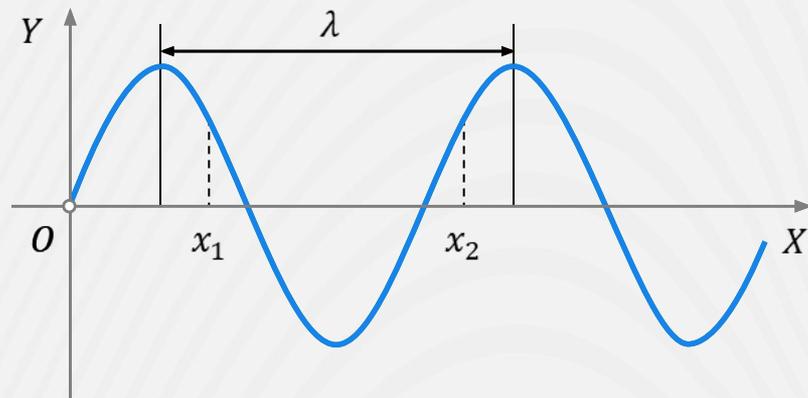


$$s = s_m \sin \left( \omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$

# Следствия из уравнения бегущей волны

3

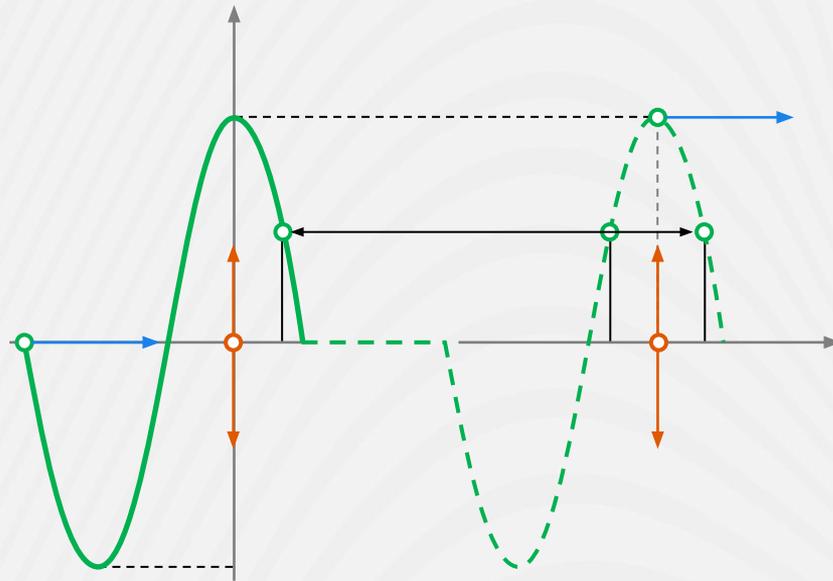
Положения колеблющихся точек среды в некоторый фиксированный момент времени описываются уравнением  $s = s_m \sin(\omega x/v + \beta)$ , где  $\beta = -\omega t$ .



# Распространение волн в упругих средах

Уравнения колебаний точек:

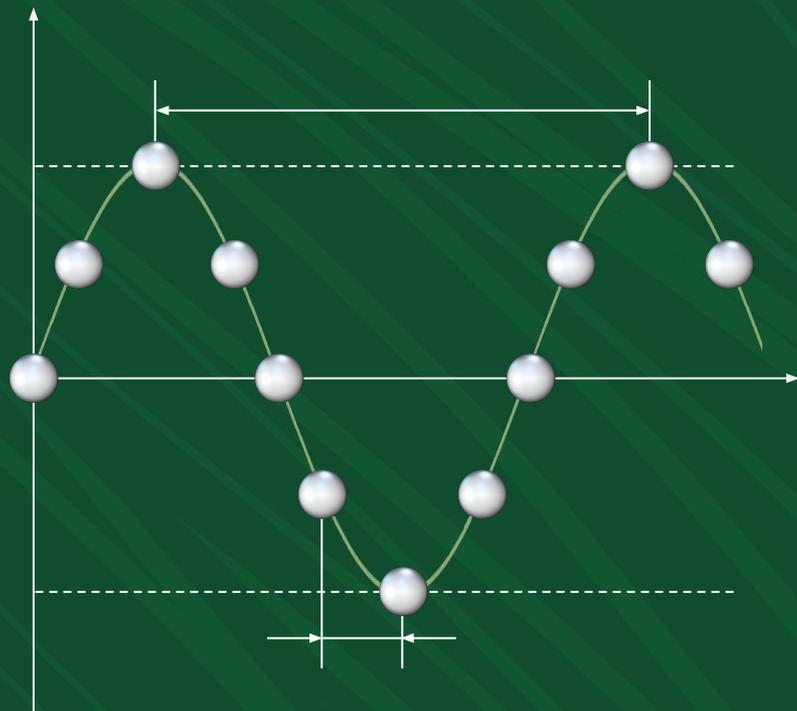
Разность фаз:



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.

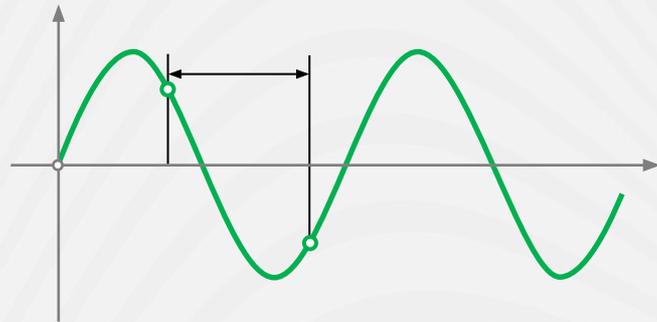
**ДАНО**

**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

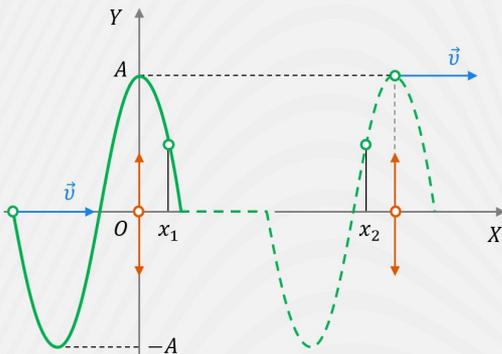
Уравнения колебаний точек:

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

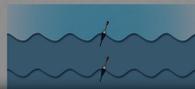
Разность фаз:

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

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



Распространение волн в упругих средах



Механическая волна —

Распространение волн в упругих средах



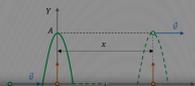
Скорость распространения волн — физическая величина, определя-

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

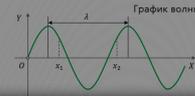
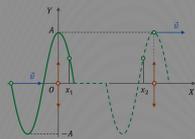


График волны — «моментальный снимок» волны.

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