

# Вълни

- Вълна – процесът на разпространение на някакъв физичен процес в пространството
  - *Независимо дали има среда!*
- Вълна - процесът на разпространение на деформации (трептения) в материална среда
  - *Изисква наличието на среда!*
- Вълна - изменение на съвкупност от физични величини, способни да се разпространяват, отдалечавайки се от мястото на тяхното възникване или да трептят в ограничена област на пространството
  - *Включва бягащи и стоящи вълни!*

# Видове вълни

- Според природата на физичните процеси
  - *Механични (еластични) вълни* в материална среда:
    - еластични вълни в твърди тела, сеизмични вълни, звукови вълни
    - повърхнинни вълни на границата на два флуида
  - *Електромагнитни вълни* - не е необходима материална среда
    - трептят векторите на електричното поле и на магнитната индукция
- В зависимост от размерността на средата
  - *едномерни* – вълни по нишки и струни
  - *повърхнинни (двумерни)* - вълни на границата на два флуида
  - *пространствени (тримерни)* – плоски и сферични
- Според ъгъла между направлението на трептящата физична величина и направлението на разпространение на вълната
  - *надлъжни и напречни*
- Според формата на вълната
  - *хармонични, нехармонични, единични*
- Според това пренасят ли енергия и импулс: *бягащи и стоящи*

# Деформации

- *Деформация* - изменението на формата и обема на реалните тела под действие на приложени сили
- Видове деформации: еластични и пластични
- *Хомогенни еластични деформации* – всички части на тялото се деформират еднакво
  - *Деформация на опъване или свиване* - деформации при *обемна еластичност*
    - едностранно опъване (свиване) - в твърда дълга пръчка (модул на Юнг  $E$ )
    - всестранна обемна еластична деформация (модул на обемна еластичност  $K$ )
  - *Деформация при хлъзгане* - деформация при *еластичност на формата* - възможна само при твърди тела (модул на еластичност при хлъзгане  $G$ )
  - *Модулите на еластичност* характеризират еластичните свойства на средата

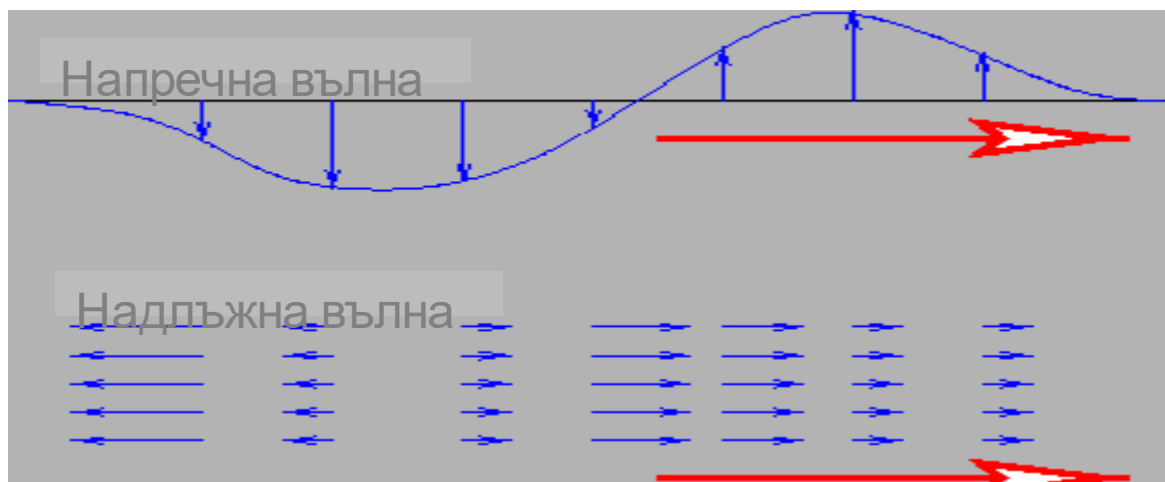
# Механични вълни

- *Непрекъсната еластична материална среда* – среда, в която деформациите породени от външни сили, изчезват след прекратяване действието на силите
  - *Еластичните свойства на средата* описваме с *модули на еластичност*
  - *Инертните свойства на средата* описваме с *плътност*
- *Механични (еластични) вълни* - процесът на разпространение на деформации в *непрекъсната еластична материална среда*
- *Скорост на механичната вълна*  $c$  - скоростта, с която се разпространяват деформациите в средата. Определя се от *инертните и еластичните свойства на средата*:

$$c \equiv \sqrt{\frac{\text{еластичност}}{\text{инертност}}}$$

# Видове механични вълни

- *Надлъжни вълни* – частиците на средата трептят в направлението на разпространение на вълната
  - дължат се на *обемни деформации на разширяване и свиване* във флуиди
  - във флуидите се разпространяват само *надлъжни механични вълни*!
- *Напречни вълни* – частиците на средата трептят в направление, перепендикулярно на разпространение на вълната
  - дължат се на *деформации при хлъзгане*, при което се изменя формата
- *Надлъжните вълни се разпространяват с по-голяма скорост от напречните !*



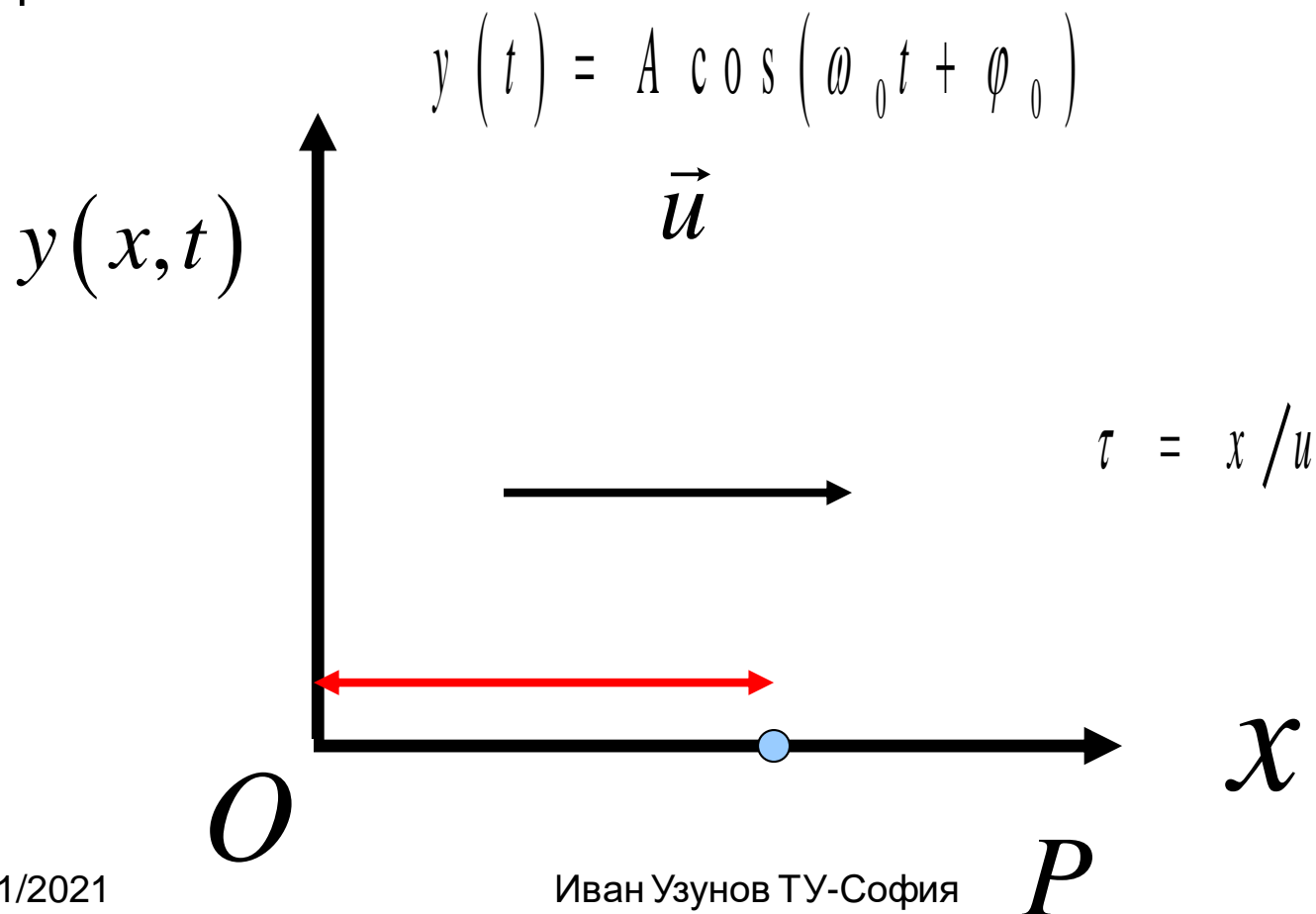
# Хармонични механични вълни

- *Източник на механичните вълни* - тяло, извършващо трептения в средата
  - Периодичното движение на *източника* въздействува върху прилежащите *частици на средата*, извежда ги от равновесие и ги заставя да извършват *принудени трептения*.
  - *частиците от средата*, разположени близо до тялото се стремят да се върнат в равновесното им положение
  - отклоняват по-отдалечени *частици* от равновесното им положение
  - деформациите обхващат все по-далечни области на средата
- *Хармонична (монохроматична) механична вълна* - процесът на разпространение на деформациите при *хармонично трептене на източника* в *непрекъснатата еластична материална среда*

$$y(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

# Едномерна хармонична вълна -1

- Механична вълна разпространяваща се със скорост  $u$  по нишка единият край  $x=0$ , на която извършва хармонично трептене
- *Източникът на механичната вълна* извършва хармонично трептене



## Едномерна хармонична вълна - 2

- *Механичната вълна* ще има *кръгова честота* равна на *кръговата честота* на трептене на източника
- За описание на *механичната вълна* трябва да се определят амплитудите и фазите в различните точки на нишката
  - Времето за което вълната ще достигне на разстояние  $x$  от началото  $O$  е
$$\tau = x / u$$
  - Тази точка ще трепти така, както е трептяла точката  $x=0$  в началния момент  $t=0$ .
- В произволен момент  $t$  отклонението на т.  $P$  на нишката ще съответства на трептенето на източника в по -ранния момент

$$t - \tau = t - x / u$$

- *Законът за движение* на т.  $P$  от нишката ще бъде – уравнение на едномерната хармонична (монохроматична) вълна:

$$y(t, x) = A \cos \left[ \omega_0 \left( t - x / u \right) + \varphi_0 \right]$$

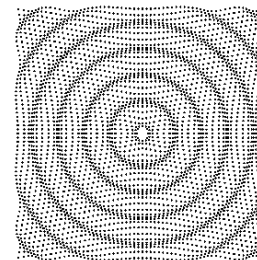


# Характеристики на хармоничната вълна

$$y(t, x) = A \cos \left[ \omega_0 \left( t - x/u \right) + \varphi_0 \right]$$

- Този израз описва и *плоска пространствена вълна*
- *Амплитуда*  $A$  – точките с максимално отклонение от равновесното положение
- *Фаза и начална фаза*  $\varphi(t, x) = \omega_0 \left( t - x/u \right) + \varphi_0$
- *Вълнова повърхнина* - геометричното място на частиците на средата, които трептят с еднаква фаза
  - *Вълнов фронт* - геометричното място на частиците на средата, до които в даден момент от време достига вълната
  - В зависимост от формата на *вълновите повърхнини*, тримерните вълни биват:
    - *Плоски вълни* – вълновите повърхнини са успоредни равнини
    - *Сферични вълни* - вълновите повърхнини са сфери

$$y(t, r) = \left( A/r \right) \cos \left[ \omega_0 \left( t - r/u \right) + \varphi_0 \right]$$



## Характеристики на хармоничната вълна

- Скоростта с която се премества дадена стойност на фазата – *фазовата скорост* е равна на скоростта на вълната

$$\varphi(t, x) = \omega_0 (t - x/u) + \varphi_0 = \text{const}$$

$$\omega_0 dt - \omega_0 dx/u = 0 \Rightarrow \frac{dx}{dt} = u$$

- Кръговата честота* характеризира бързината с която фазата се изменя във времето в една фиксирана точка от пространството :
  - *Кръговата честота на механичната вълна съвпада с кръговата честота на хармоничното трептене на източника*

$$\partial \varphi / \partial t = \omega_0 = 2\pi / T$$

- Периодът T* характеризира временната периодичност на вълната.
  - При всяко изменение на  $t$  с  $T$  фазата се изменя с  $2\pi$ .
- Честота на вълната*  $\nu = 1/T = \omega_0 / 2\pi$

## Характеристики на хармоничната вълна

- *Вълново число*  $k$  характеризира бързината с която фазата се изменя в пространството във фиксиран момент от времето :

$$\left| \partial \varphi / \partial x \right| = \omega_0 / u = k = 2\pi / \lambda$$

- *Дължината на вълната*  $\lambda$  характеризира пространствената и периодичност
  - При всяко изменение на  $x$  с  $\lambda$  фазата ще се изменя с  $2\pi$ .
  - Разстоянието между най-близките частици на средата трептящи с еднаква фаза

$$\Delta\varphi = \omega_0 \left( t - \frac{x_1}{c} \right) - \omega_0 \left( t - \frac{x_2}{c} \right) = \frac{\omega_0}{c} (x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1)$$

- *Дължина на вълната* - разстоянието на което се придвижва вълната за един *период*
- *Период на вълната* – времето за което вълната изминава разстояние равно на *дължината на вълната*

$$\lambda = uT \Leftrightarrow T = \lambda / u$$

# Вълново уравнение в едномерния случай

- *Вълново уравнение* – линейно частно диференциално уравнение от втори ред с постоянни коефициенти:

$$\frac{\partial^2 y(t, x)}{\partial x^2} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 y(t, x)}{\partial t^2}$$

- Ако физична величина удовлетворява това уравнение, за нея съществуват *вълни*
- Всяка физична величина съществуваща под формата на вълна удовлетворява *вълново уравнение*

## Енергия и плътност на енергия на хармоничната вълна

- *Енергията на вълната* е равна на сбора от *потенциалната енергия на деформацията* и *кинетичната енергия* на частиците - за хармоничната вълна тези две енергии са еднакви

$$dE = \rho \omega_0^2 A^2 \sin^2(\omega_0 t - kx) dV [J]$$

- *Плътност на енергията* – енергията съдържаща се в единица обем от средата в която се разпространява вълната

$$w = dE / dV = \rho \omega_0^2 A^2 \sin^2(\omega_0 t - kx) [J / m^3]$$

- *Средна плътност на енергията* за всяка точка от средата в която се разпространява вълната

$$\bar{w} = \rho \omega_0^2 A^2 / 2 [J / m^3]$$

## Поток на енергията, плътност на потока и интензитет на хармоничната вълна

- *Поток на енергията* – енергията, която се пренася от вълната за единица време през някаква повърхност с площ  $S$ , перпендикулярна на посоката на разпространение

$$Q(t, x) = wSu [J/s = W]$$

- *Плътност на потока* – енергията, която се пренася от вълната за единица време през единица площ, перпендикулярна на посоката на разпространение

$$Q(t, x)/S = wu [W/m^2]$$

- *Интензитет* – средната плътност на потока

$$I = \bar{Q}/S = \bar{w}u = \rho \omega_0^2 A^2 u / 2 [W/m^2]$$