

Вълнов процес – определение, видове вълни. Основни характеристики – скорост на разпространение, дължина на вълната, вълново число. Уравнение на плоска хармонична вълна

Вълнов процес – определение, видове вълни. Основни характеристики – скорост на разпространение, дължина на вълната, вълново число

Досега разглеждахме трептенията на дадено тяло (материална точка), без да се интересуваме дали то се намира в някаква среда. Ако трептящото тяло се намира в дадена точка на непрекъснатата еластична среда, то привежда всички допиращи се до него частици от средата в трептеливо движение, тъй като между частиците на средата съществуват сили на взаимодействие, които оказват съпротивление срещу всякакъв вид деформации. При трептенето тялото предизвиква отместване на най-близките до него частици от равновесните им положения, вследствие на което в съседните на тялото области се появяват периодични деформации (свиване и разтягане). Като резултат от това в средата възникват еластични сили, стремящи се да върнат деформираните области към първоначалното състояние на равновесие. Така всички частици от средата започват да трептят около равновесните си положения, повтаряйки с известно закъснение хармоничните трептения на тялото, намиращо се в дадената точка на средата. Това тяло изпълнява ролята на източник или център на разпространяващия се вълнов процес, който се нарича още вълна. Колкото по-далеч от източника се намира дадена частица, толкова по-късно тя ще започне да трепти. В такъв случай фазите на трептене на източника и на частиците от средата ще бъдат различни. При предположение, че в средата няма загуба на енергия, амплитудите на трептенията на източника и различните частици на средата ще се запазват постоянни с времето. Следователно, за да наблюдаваме вълни в дадена еластична среда, т.е. частиците ѝ да започнат да трептят, е необходимо да внесем източник (трептящо тяло) в нея. Енергията на източника се предава от частица на частица и се разпространява в средата, т.е. частиците от средата трептят около равновесните си положения, а при самия вълнов процес (разпространението на трептенето) се пренася енергия, а не маса, както изглежда на пръв поглед.

В зависимост от характера на възникващите еластични деформации вълните биват надлъжни и напречни. При надлъжните вълни частиците на средата трептят по направлението, в което се разпространяват вълните. При напречните вълни частиците на средата трептят в направление, което е перпендикулярно на това, в което се разпространяват вълните.

В зависимост от областта, която обхващат вълните при разпространението си, те могат да бъдат разделени и по друг признак – обемни, когато обхващат целия обем на средата, и повърхнинни, ако обхващат само повърхностния ѝ слой. Обикновено повърхнинните вълни възникват на повърхността на течностите (например морските вълни), а обемните – при разпространението на звука в течностите и твърдите тела.

Както казахме по-горе, вълната представлява разпространение на трептенето в дадена среда. Този процес се извършва с определена скорост v , която наричаме скорост на разпространение на вълната. Ако средата е еднородна, скоростта, с която се разпространява вълната е постоянна. Определено време t след възбуждане на трептенето, вълната се разпространява на някакво разстояние r от източника. Всички точки, които се намират на това разстояние r , започват да трептят едновременно и лежат върху една повърхност, обгръщаща източника на трептенията. Тази повърхност представлява геометричното място на точките, до които достигат трептенията на източника в даден момент, и се нарича фронт на вълната. С течение на времето фронтът се изменя непрекъснато и определя границата между две области от пространството – една, в която частиците вече са започнали да трептят, и друга, до която трептенията на източника още не са достигнали. Всички точки, до които вълната достига за едно и също време, трептят с еднакви фази и образуват повърхности, които се наричат вълнови повърхности. Вълновите повърхности представляват геометричното място на точки, трептящи с еднакви фази. Те са свързани с конкретни стойности на времето и са неподвижни. Вълновите повърхности могат да имат различна форма в зависимост от конфигурацията на източника на трептене и свойствата на средата. Най-простите вълни в зависимост от формата на вълновите повърхности са плоските (вълновите повърхности представляват множество равнини, успоредни една на друга) и сферичните (вълновите повърхности са концентрични сфери). Друга величина, с която се характеризират вълновите процеси, е разстоянието между две най-близки частици, трептящи с еднакви фази. Тази величина се нарича дължина на вълната. Означава се с λ и като всяко разстояние се измерва в метри [m]. Дължината на

вълната може да бъде дефинирана и по следния начин: разстоянието, на което се разпространява фронтът на дадена вълна (а следователно и самата вълна) за време, равно на един период T от трептенията на източника:

$$(1) \lambda = vT = \frac{v}{f}.$$

От зависимостта (1) лесно може да се определи скоростта v на разпространение на вълната: $v = \lambda f$. Тази скорост v , както и дължината на вълната λ , зависят от свойствата на средата. Честотата на вълната е същата, както и честотата f на трептения на източника и зависи само от свойствата на източника. Същото се отнася и за другите характеристики на вълната, свързани с честотата f – период и кръгова честота. Амплитудата на плоската вълна (ако нямаме загуба на енергия в средата) е същата, както и на трептенето, което я е възбудило, но амплитудата на сферичната вълна намалява с отдалечаване от източника. Можем да въведем още една величина, характеризираща вълната – вълново число

$$(2) k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

(когато вълната се разпространява в една посока, напр. плоска вълна), което определя колко дължини на вълната се нанасят на разстояние $2\pi \text{ m}$, а мерната му единица е $[\text{m}^{-1}]$, или вълнов вектор \vec{k} (в общия случай), чиято големина се дава от (2), а посоката му е по положителната нормала към вълновата повърхност в дадената точка. Тази величина е свързана с импулса на вълната.

Уравнение на плоска хармонична вълна

Ще разгледаме по-подробно най-простият случай на разпространение на трептенето – плоска хармонична напречна вълна, разпространяваща се в дадена посока (напр. оста X на избраната отправна система с отправно тяло – източника на трептения). Всяка точка, до която е достигнала вълната в даден момент ще започне да трепти по оста Y , перпендикулярна на X . Уравнението на вълната (уравнението на движение на всички частици от средата, до които е достигнала вълната) трябва да е функция не само на времето t (както при трептенето), а и на разстоянието x , на което се намира дадена точка от източника на трептения (началото на координатната система) – $y = f(x, t)$. В този случай (плоска хармонична вълна), всички точки от средата, до които достига вълновият процес, повтарят трептенията на източника с известно закъснение, тъй като те се намират на различни разстояния от източника. Трептения им започват след различни интервали от време, които променят съответно фазите им (началната фаза на трептенето на всяка точка зависи от разстоянието x), т.е. ако знаем уравнението на трептене на източника и скоростта v на разпространение на вълната, можем да получим уравнението на трептене на всяка точка от средата в даден момент от време – това е и уравнението на вълната.

Нека уравнението на трептене на източника (за него координатата $x=0$) да бъде:

$$y(0, t) = A \sin(\omega t + \varphi).$$

Точка от средата, която се намира на разстояние x от източника, ще започне да трепти след време $\tau = \frac{x}{v}$, т.е. трептенето ще закъснява по фаза спрямо източника. Уравнението на трептене на тази точка ще бъде:

$$(3) y(x, t) = A \sin\left(\omega\left(t - \tau\right) + \varphi\right) = A \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi\right) = A \sin\left(\omega t - \omega \frac{x}{v} + \varphi\right)$$

и като използваме (2) получаваме

$$(4) y(x, t) = A \sin(\omega t - kx + \varphi)$$

– уравнението на плоска хармонична вълна, разпространяваща се в положителната посока на избраната ос X . Ако вълната се разпространява в противоположната посока, скоростта на разпространение в (3) ще има противоположен знак и (4) ще придобие вида:

$$y(x, t) = A \sin(\omega t + kx + \varphi).$$

Така **общият вид на уравнението на плоска хармонична вълна ще бъде:**

$$y(x, t) = A \sin(\omega t \mp kx + \varphi),$$

където знакът "-" се отнася за разпространение на вълната в положителна посока на избраната ос X , а знакът "+" – за разпространение в противоположната посока.

За сферични вълни амплитудата на трептенията се изменя обратнопропорционално на разстоянието r , на което се намира дадената точка от източника (във всички посоки!), поради което уравнението (4) има вида:

$$y(r, t) = \frac{A}{r} \sin(\omega t - kr + \varphi)$$

Както казахме по-горе, всички точки от една вълнова повърхност трептят с еднаква фаза, чиято стойност Φ_0 зависи от x и t :

$$(5) \quad \Phi_0 = \omega t - kx + \varphi = \text{const}.$$

След определено време такава стойност на фазата Φ_0 ще има друга вълнова повърхност с друга координата, т.е. конкретната стойност на фазата се премества по оста X . Скоростта на преместване на фазата можем да определим от (5) като първата производна на координатата x по времето t :

$$x = \frac{1}{k}(\omega t + \varphi - \Phi_0)$$

$$(6) \quad \frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = v$$

Виждаме, че скоростта на промяна на фазата е същата, както и скоростта на разпространение на вълната v . Затова тази скорост се нарича още фазова скорост на вълната.