

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»  
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

Институт оптики и оптических технологий

Кафедра физики

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

Новосибирск  
СГГА

## Упругие волны, их основные виды и характеристики

**Упругая волна** – процесс распространения колебаний в упругой среде с переносом энергии без переноса вещества.

Упругие волны могут существовать в любых средах – твердых, жидких, газообразных, диэлектрических, полупроводниковых, проводящих, чем с точки зрения получения информации, выгодно отличаются от использования для этой цели: электрических полей, магнитных полей, светового излучения.

Упругие волны, распространяющиеся от места возникновения, взаимодействуют с веществом, обмениваются с частицами вещества энергией, импульсом и несут информацию о параметрах среды.

Наиболее распространёнными типами упругих волн в твёрдых телах являются:

– продольные волны — волны с колебанием частиц вдоль направления распространения волны;

– поперечные волны — волны с колебанием частиц перпендикулярно направлению распространения волны;

– поверхностные акустические волны (ПАВ, например, волны Рэлея) — волны с колебанием частиц по эллипсам вдоль поверхности тела;

– волны Лэмба — волны в тонких пластинах;

изгибные волны — распространение колебаний деформации изгиба в стержнях или пластинах, длина волны которых много больше толщины стержня или пластины.

Любые волны, возникающие в среде, независимо от физической природы возмущений и среды, имеют ряд общих свойств. Для описания волны вводят следующие параметры: скорость волны; частота колебаний частиц в волне; волновой вектор.

Проследим за распространением какого-либо возмущения в среде.

На рис.1 а), показано смещение частиц среды от положения равновесия в некоторый момент времени  $t_0$  в зависимости от координаты частиц  $x$ . В точке с координатой  $x_0$  смещение равно  $S$ .

Возмущение перемещается, не изменяясь, со скоростью  $v$  по направлению оси  $x$ , и на рис 1 б), показано новое положение возмущением спустя время  $t$ . Смещение равно прежнему значению  $S$  в точке с новой координатой  $x=x_0+v(t-t_0)$ .

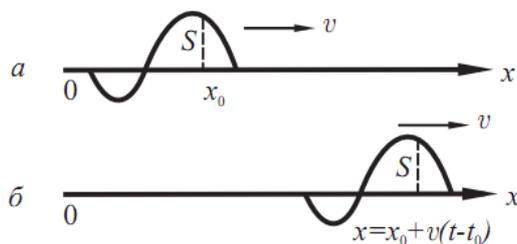


Рис.1 (а,б) Распространение возмущения.

Возмущение любого вида можно представить как суперпозицию синусоидальных (косинусоидальных) колебаний. В этом случае рассмотрение распространения волны с любым характером возмущения можно заменить на рассмотрение набора отдельных бегущих синусоидальных волн.

Уравнение бегущей синусоидальной (косинусоидальной) волны имеет вид:

$$S(x, t) = A \cos(\omega t - kx).$$

где  $A$  – амплитуда колебания,  $\omega$  – круговая частота колебаний в волне,  $k$  – волновое число. Такая волна в среде носит название **нормальной** (или собственной), т.к. упругие волны в ней обусловлены упругими колебаниями среды, т.е. собственной упругостью среды.

Скорость распространения синусоидальной волны  $v = \omega/k$  носит название **фазовой скорости**. Это скорость распространения фиксированной фазы колебаний.

Распространяясь в среде, волна захватывает все новые ее области. Граница, отделяющая возмущенную область среды от невозмущенной, называется фронтом волны.

В общем случае уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси  $x$  в среде, не поглощающей энергию, имеет вид:

$$S(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0).$$

## Упругие волны в среде. Распространение упругих продольных волн в среде.

Любая локальная деформация среды вызывает образование распространяющегося в ней во всех направлениях возмущения, т.е. бегущей волны. Если деформации малы и остаточных (после предыдущего воздействия) деформаций среды нет – волна является упругой.

Рассмотрим распространение малых продольных возмущений в стержне, возникших в результате действия постоянной силы  $F$  давления на его свободный конец **A** (рис.2).

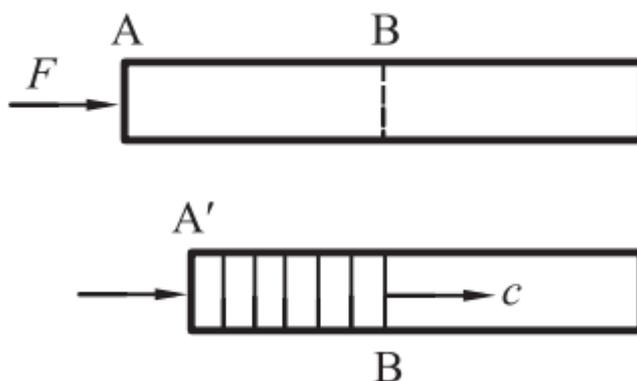


Рис.2. Распространение продольных возмущений в стержне

Момент приложения силы  $F$  считаем началом отсчета времени, т.е. нулевым. В возмущенной области стержня все вещество в любой момент времени  $t$  движется с постоянной скоростью  $v$ , сам стержень в указанной области деформирован одинаково. Если  $m$  – масса деформированной части стержня в момент  $t$ , то его импульс при этом равен  $mv$ , и, в соответствии со вторым законом Ньютона, запишем:

$$d(mv)/dt = F \quad (1).$$

Вещество стержня левее границы **B** движется, а правее границы находится в состоянии покоя. Сама граница перемещается с постоянной скоростью  $c$  и за время  $t$  возмущение проходит путь  $\ell = ct$ , так что масса возмущенной области стержня будет  $m = \rho Sct$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения стержня,  $\rho$  – его плотность. Учитывая, что  $F = pS$ , где  $p$  – давление в возмущенной области, из (1) найдем:

$$p = \rho v c.$$

Давление  $p$  внутри области стержня приводит к его сжатию на величину  $\Delta l$ ; относительная деформация  $\varepsilon$  равна:

$$\varepsilon = \Delta l / l = p / E_{\text{Ю}} \quad (2)$$

Здесь  $E_{\text{Ю}}$  – модуль Юнга, а все выражение является законом Гука.

Модуль Юнга (модуль упругости) — физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению/сжатию при упругой деформации. В Международной системе единиц (СИ) измеряется в ньютонах на метр в квадрате или в паскалях.

К моменту времени  $t$  правый конец сжатой области (граница **B**) не успел переместиться, а левый **A'** двигался с течением времени  $t$  со скоростью  $v$  и прошел расстояние  $vt$ , которое и равно укорочению  $\Delta l$  стержня:

$$\Delta l = vt. \quad (3)$$

Учитывая (2) запишем:

$$\varepsilon = vt / l = v / c \quad (4)$$

$$p = E_{\text{Ю}} \varepsilon = E_{\text{Ю}}(v / c) \quad (5)$$

Приравнивая правые части уравнений (2) и (5), получим значение скорости распространения продольных возмущений в стержне:

$$c = (E_{\text{Ю}} / \rho)^{1/2} \quad (6)$$

Найдем значение энергии, переносимой волной. Работа силы  $F$  за время  $t$  равна:

$$A = Fvt = p\varepsilon Sl = p\varepsilon V \quad (7)$$

где  $V=Sl$  – объем возмущенной части стержня.

Работа приводит к сжатию стержня, т.е. возникновению потенциальной энергии, а также приращению кинетической энергии. Примем без вывода:  $W_{\text{п}} = \frac{1}{2}(p\varepsilon V)$ . Видим, что только половина работы идет на увеличение потенциальной работы; другая половина тратится на приращение кинетической.

Таким образом, в каждый момент времени кинетическая энергия равна потенциальной. Это свойство упругого возмущения, распространяющегося в одном направлении.

Распространение малых возмущений в среде подчиняется принципу суперпозиции: всякое возмущение в среде не влияет на распространение другого возмущения. Этот принцип справедлив и для смещений частиц (деформаций вещества), и для скоростей частиц, и для упругих напряжений в среде (так как напряжения пропорциональны деформациям).

Если, как показано на рис.2 приложенная сила  $F$  приводит к сжатию стержня, т.е. возникает бегущая волна сжатия, в ней частицы двигаются в том же направлении, в каком распространяется волна возмущения. Если сила направлена противоположно рис.2, то возникает растяжение, возмущение носит характер волны растяжения, частицы в области возмущения двигаются противоположно движению возмущения.

### **Распространение продольных и поперечных возмущений в неограниченной среде.**

В неограниченной упругой среде возбуждение локальной области приводит к возникновению, помимо продольных возмущений, также и поперечных возмущений, в которых частицы среды смещаются перпендикулярно направлению распространения волны возмущения. Обе волны – продольная и поперечная – возникают одновременно и имеют разные скорости распространения.

Скорость продольной волны в неограниченной среде отличается от скорости такой же волны в стержне, так как в стержне сжатие по длине сопровождается увеличением его поперечных размеров, частицы движутся не совсем параллельно оси стержня. В неограниченной среде движения частиц в продольной волне поперек направления движения волны нет, поэтому неограниченная среда как бы обладает большей жесткостью, чем стержень.

Рекомендуемая литература, для изучения дисциплины “Физические основы защиты информации”:

1. Теоретические основы защиты информации от утечки по акустическим каналам [Текст] : учеб. пособие / Ю.А.Гатчин, А.П.Карпик, К.О.Ткачев, К.Н.Чиков, В.Б.Шлишевский. - Новосибирск: СГГА, 2008. – 194 с.
2. Физические основы получения информации [Текст]: учеб. пособие / В.В.Чесноков, Д.В.Чесноков. – Новосибирск: СГГА, 2011. - 447 с.

3. Основы защиты информации : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И.Куприянов, А.В.Сахаров, В.А.Шевцов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2007. – 256 с.

4. Тюшев, А.Н. Курс лекций по физике [Текст] : учеб. пособие для вузов, рекомендовано СР УМЦ / СГГА. - 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск : СГГА, 2011.:

Ч. 1 : Механика / А. Н. Тюшев, В. Д. Вылегжанина. - 2011. - 143 с.

Ч. 2 : Электричество и магнетизм / А. Н. Тюшев, А. И. Вайсберг ; СГГА. - 2011. - 175 с.

Ч. 3 : Колебания и волны. Волновая оптика / А. Н. Тюшев, Л. Д. Дикусар; СГГА. - 2011. - 193 с