

Тема урока *Распространение колебаний в упругой среде. Волны. Скорость и длина волны.*

В прошлых темах говорилось о колебательных процессах.

Движение, при котором состояния тела с течением времени повторяются, причем тело проходит через положение устойчивого равновесия поочередно в противоположных направлениях, называют **механическим колебательным движением**.

Оказывается, помимо просто колебательного процесса в узкой области пространства, возможно еще и распространение этих колебаний в среде.

Можно наблюдать рябь на поверхности озера или реки. Если бросить камень в воду, то от него пойдут круги. Подобные процессы распространения возмущения представляют собой волну.

Волна — это изменение состояния среды, распространяющееся в пространстве и времени.

Перейдем к обсуждению этого распространения. Прежде, чем обсудить возможность существования колебаний в среде, необходимо определиться с тем, что такое упругая среда.

Среда называется **упругой**, если между ее частицами существуют силы взаимодействия, препятствующие какой-либо деформации этой среды.

Рассмотрим следующий пример, на поверхность воды в сосуде поместим легкий поплавок. Заставив его совершать колебания, можно увидеть, что от него по воде идут круги — волны.



Когда какое-либо тело совершает колебания в упругой среде, то оно воздействует на частицы среды, прилегающие к телу, и заставляет их совершать вынужденные колебания. Среда вблизи колеблющегося тела деформируется, и в ней возникают упругие силы. Эти силы воздействуют на все более удаленные от тела частицы среды, выводя их из положения равновесия. Постепенно все частицы среды вовлекаются в колебательное движение. Таким образом, частицы, которые прилегают вплотную к поплавку, будут повторять его движение, т.е. будут совершать колебания. Поскольку эти

частицы взаимодействуют с другими более удаленными от поплавок частицами, то они также будут совершать колебания, но с некоторым запаздыванием. Таким образом, колебание будет распространяться по всем направлениям.

Подобное волновое движение можно наблюдать в длинной пружине, расположенной горизонтально. Если один конец пружины закрепить, а другой слегка сжимать и отпускать, то по пружине будет распространяться волна. При сжатии пружины возникает сила упругости, которая заставляет витки пружины разжиматься. Витки, подобно маятнику, колеблются возле своих положений равновесия. Эти колебания постепенно передаются от витка к витку вдоль всей пружины.



Во всех этих примерах источником волн являются различные тела. Их называют источниками волн. Т.е., источники волн — это тела, которые вызывают распространяющиеся в среде упругие волны. Это, например, колеблющиеся камертоны, струны музыкальных инструментов.



Упругими волнами называются механические возмущения, производимые источниками, которые распространяются в упругой среде. Упругие волны в вакууме распространяться не могут.

Далее будут рассматриваться только бегущие волны. **Основное свойство бегущих волн заключается в том, что они, распространяясь в пространстве, переносят энергию без переноса вещества.** Пронаблюдаем это на опыте. В сосуд с водой, в котором находится поплавок, поместим второй поплавок. После того как первый поплавок начнет совершать колебания, начнет колебаться и второй поплавок, благодаря энергии полученной от волны. При этом сам поплавок будет оставаться на месте. Значит, частицы воды не переносятся волной, т.е. не происходит переноса вещества.

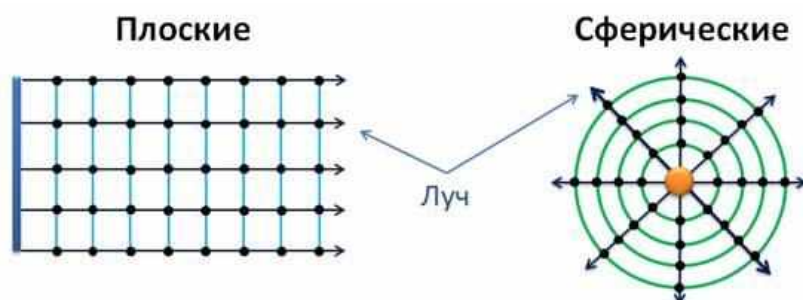
Все волны делятся на два вида — **продольные** и **поперечные**. Волна называется **поперечной**, если частицы среды совершают колебания в направлении, перпендикулярном к направлению распространения волны. Такие волны могут распространяться в твердых средах и на поверхности. Волна называется **продольной**, если частицы среды совершают колебания в направлении распространения волны.



При описании волнового процесса среду считают сплошной и непрерывной, а ее частицами являются бесконечно малые элементы объема, в которых находится большое количество молекул.

Геометрическое место точек среды, колеблющихся в одинаковых фазах, образует **волновую поверхность**.

Волновую поверхность, отделяющую колеблющиеся частицы среды от частиц, еще не начавших колебаться, называют **фронтом волны**. В зависимости от формы фронта волны различают волны **плоские**, **сферические** и др.



Так, например, в **плоской волне** волновые поверхности представляют собой **плоскости**, перпендикулярные к направлению распространения волны.

В **сферической волне** волновые поверхности представляют собой **концентрические сферы**. Сферическую волну может создать

пульсирующий в однородной упругой **среде шар**. Такая волна распространяется с **одинаковой** скоростью по всем **направлениям**.

Линия, проведенная перпендикулярно волновому фронту в направлении распространения волны, называется **лучом**. **Луч указывает направление распространения волны**.

Все волны делятся на два вида — **продольные** и **поперечные**. Волна называется **поперечной**, если частицы среды совершают колебания в направлении, перпендикулярном к направлению распространения волны. Поперечная волна распространяется, например, вдоль натянутого горизонтального резинового шнура, один из концов которого закреплен, а другой приведен в вертикальное колебательное движение.



Волна называется **продольной**, если частицы среды совершают колебания в направлении распространения волны. Продольная волна распространяется, например, вдоль натянутой горизонтальной пружины.

Распространение продольных и поперечных волн можно описать с помощью модели, в которой частицы среды представлены в виде совокупности шариков и пружинок.

В продольных волнах шарики испытывают смещение вдоль цепочки, а пружинки растягиваются или сжимаются. **Продольные волны могут распространяться в любых средах — твердых, жидких и газообразных.**

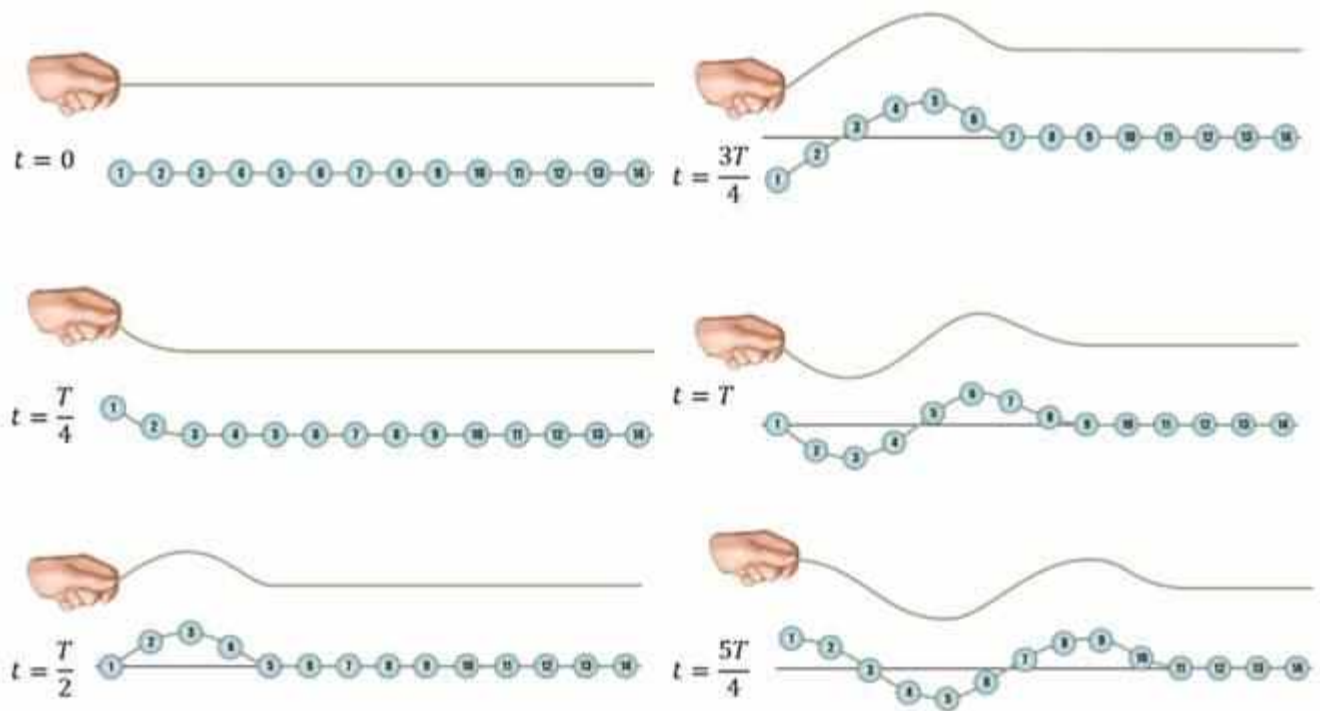
Если же один или несколько шариков сместить в направлении, перпендикулярном цепочке, то в результате по ней побежит поперечная

волна. **Поперечные волны могут существовать только в твердых средах**, т.к. смежные слои жидкости или газа могут свободно скользить друг по другу без проявления упругих сил.

Основные выводы:

- **Волна** — это изменение состояния среды, распространяющееся в пространстве и времени.
- **Источники волн** — это тела, которые вызывают распространяющиеся в среде упругие волны.
- Основное свойство волн заключается в том, что они, распространяясь в пространстве, переносят энергию без переноса вещества.
- Все волны делятся на два вида — **продольные** и **поперечные**.
- **Волна** называется **поперечной**, если частицы среды совершают колебания в направлении, перпендикулярном к направлению распространения волны. Такие волны могут распространяться в любых средах — твердых, жидких и газообразных.
- **Волна** называется **продольной**, если частицы среды совершают колебания в направлении распространения волны. Продольные волны могут существовать только в твердых средах, т.к. смежные слои жидкости или газа могут свободно скользить друг по другу без проявления упругих сил.

Рассмотрим более подробно процесс передачи колебаний от точки к точке при распространении поперечной волны. Для этого разберем различные стадии процесса распространения поперечной волны через каждые четверть периода.



Установка представляет собой цепочку пронумерованных шариков, которые символизируют частицы среды. Будем считать, что между шариками, как и между частицами среды, существуют силы взаимодействия.

При смещении точки 1, возникнут силы упругости, которые заставят точку 2 двигаться вслед за точкой один. Это приводит к возникновению сил упругости между точками 2 и 3 и т.д.

Таким образом, благодаря силам взаимодействия каждый шарик в цепочке будет повторять движение первого, но с некоторым запаздыванием. **Это запаздывание будет тем больше, чем дальше от первого шарика находится данный шарик.**

За вторую четверть периода точка 1 вернется в положение равновесия. Точка 3 испытает максимальное отклонение, а точка 5 только начнет движение.

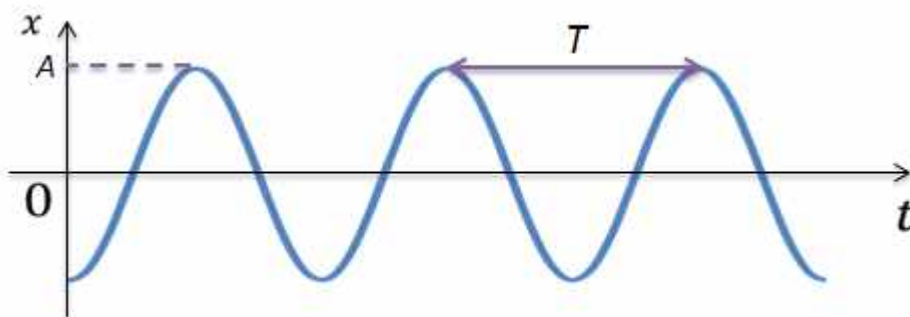
К концу третьей четверти периода точка 1 испытает максимальное отклонение вниз, точка 3 будет проходить положение равновесия, точка 5 испытает максимальное отклонение вверх, а точка 7 только начнет движение.

К концу периода точка 1 завершит полное колебание и снова придет в положение равновесия, точка 3 отклонится на амплитудное значение вниз, точка 5 будет проходить положение равновесия, точка 7 отклонится на амплитудное значение вверх, а точка 9 только начнет движение.

Еще через четверть периода точки 1 и 9 уже будут колебаться одинаково. Таким образом, за время равное периоду колебаний, волна распространяется от точки 1 до точки 9.

Каждый шарик в отдельности будет совершать колебательное движение. А все вместе эти колебания будут представлять собой поперечную волну.

Раз это колебание, то волне будут присущи все характеристики, которые соответствуют колебанию: амплитуда, период колебания и частота.



Амплитуда — это максимальное смещение тела от положения равновесия.

Промежуток времени, в течение которого тело совершает одно полное колебание, называется **периодом**.

Число колебаний в единицу времени называется **частотой колебаний**.

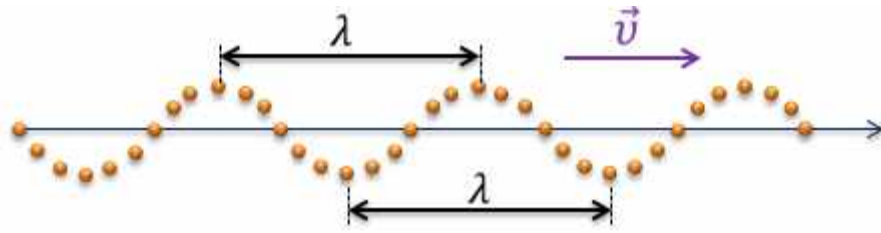
Кроме этого возмущение, создаваемое колеблющимся в упругой среде телом, передается от одной точки среды к другой. Это происходит не мгновенно, а с определенной скоростью.

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

Вектор скорости направлен по нормали к волновой поверхности в сторону распространения волны и в однородной среде совпадает с направлением луча.

Следует отличать скорость распространения волны от скорости колебания частиц среды около своих положений равновесия.

Пусть волна распространяется вдоль горизонтальной оси (например, вдоль упругого горизонтального шнура). В данный момент времени форма волны повторяется в пространстве вдоль шнура через определенные отрезки. На рисунке показан профиль волны в определенный момент времени.



Расстояние между ближайшими точками, колеблющимися в одинаковых фазах, называется **длиной волны**.

Длина волны обозначается греческой буквой λ (лямбда). Она равна расстоянию, на которое распространяется фронт волны за время, равное периоду колебаний источника волн:

$$\lambda = vT$$

Так как период и частота связаны соотношением:

$$T = \frac{1}{\nu}$$

то скорость волны связана с частотой колебаний уравнением:

$$v = \lambda \nu$$

Отсюда

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

Тогда смещение точки среды с координатой r в момент времени t равно

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

Это и есть **уравнение плоской бегущей монохроматической волны** (при этом предполагают, что затуханием волны в процессе ее распространения можно пренебречь).

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

Основные выводы:

- Волне присущи все характеристики, которые соответствуют колебанию: **амплитуда, период колебания и частота**. Кроме этого возмущение, создаваемое колеблющимся в упругой среде телом, передается от одной точки среды к другой. Это происходит с определенной скоростью.
- **Скорость распространения волны** — это физическая величина, определяемая расстоянием, которое проходит любая точка фронта волны за единицу времени. **Вектор скорости направлен** по нормали к волновой поверхности в сторону распространения волны и в однородной среде совпадает с направлением луча.
- Расстояние между ближайшими точками, колеблющимися в одинаковых фазах, называется **длиной волны**.
- **Уравнение плоской бегущей монохроматической волны:**

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