

## Лекция. Колебания и волны

**Задачи:** Дать понятие механическим колебаниям и волнам. Познакомить с особенностями звуковых волн. Дать понятие электромагнитным колебаниям и волнам. Дать понятие световым волнам. Развить представления о природе света, законах отражения и преломления света.

### Механические колебания и волны



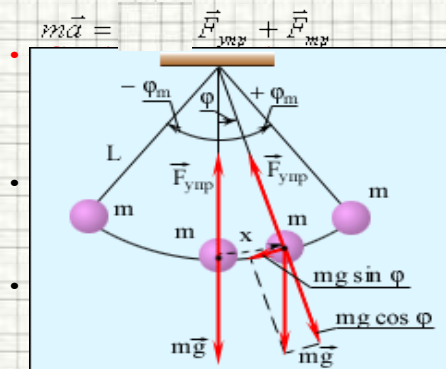
**Колебательным процессом (колебанием)** называется такое изменение состояния системы, при котором значения параметров состояния последовательно отклоняются то в одну, то в другую сторону от некоторого значения.



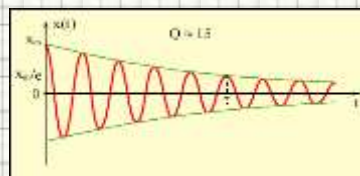
**Свободные колебания** - это колебания, которые совершаются под действием внутренних сил, пропорциональных смещению и направленных к положению равновесия. Они совершаются за счет первоначально сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему.

**Гармоническими** называются колебания, при которых величины, описывающие систему, изменяются по закону синуса или косинуса. Этими величинами могут быть: координата точки, энергия, напряжённость электрического поля, индукция магнитного поля, скорость и т.д.

# Свободные и вынужденные колебания



$$W = W_k + W_p = \frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} mv^2$$



- Реальные колебательные процессы являются **затухающими**, так как на колеблющееся тело действуют силы сопротивления движению.
- **Вынужденные колебания** совершаются под действием **внешней периодически изменяющейся силы**, которую называют **вынуждающей**.



Уравнение гармонических колебаний:

$$x = x_m \sin(\omega t + \phi_0)$$

где  $x$  - значение изменяющейся величины в данный момент времени,  $x_m$  - амплитуда колебаний,  $\omega$  - циклическая частота,  $\phi_0$  - начальная фаза.

**Амплитуда колебаний** - это модуль максимального отклонения изменяющейся величина от положения равновесия.

**Частота** - это число колебаний за единицу времени (обычно за секунду). В системе СИ частота измеряется в герцах (Гц).

**Циклическая частота** - это число колебаний за 2 секунд. В системе СИ циклическая частота измеряется в  $s^{-1}$ .

**Период колебаний**  $T$  - это время, за которое совершается одно полное колебание. В системе СИ период измеряется в секундах (с).

Связь периода, частоты и циклической частоты колебаний

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$

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

Значение выражения  $(t + \phi_0)$ , стоящего под знаком косинуса или синуса в уравнении гармонических колебаний и определяющего при постоянной амплитуде состояние колебательной системы в данный момент времени, называется **фазой колебаний**. Фаза колебаний в системе СИ измеряется в радианах (рад).

**Сила, действующая на колеблющуюся материальную точку**

$$F = -m\omega^2 x = -kx$$

**Полная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания**

$$W = \frac{m\omega^2 x^2}{2}$$

**Математическим маятником** называется материальная точка, подвешенная на длинной, невесомой и нерастяжимой нити. При выведении из положения равновесия такая система совершает колебания под действием силы тяжести.

**Период колебаний математического маятника** равен

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

где  $l$  - длина математического маятника,  $g$  - ускорение свободного падения.

**Период колебаний пружинного маятника:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

где  $m$  - масса маятника,  $k$  - коэффициент упругости пружины.

**Автоколебания** - это незатухающие колебания, существующие за счёт постоянного источника энергии, который периодически включается и выключается самой колебательной системой в нужные моменты времени для пополнения запаса энергии.

**Резонанс** - это явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, когда частота внешних периодических воздействий совпадает с частотой собственных колебаний колебательной системы.

**Волна** - это процесс распространения колебаний в материальной среде.

**Фронт волны** - это поверхность, которая отделяет область пространства, уже вовлечённую в волновой процесс, от области пространства, в которой колебания ещё не возникли.

**Волновой поверхностью** называется геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе.

**Волны называют поперечными**, если колебания в них происходят перпендикулярно направлению распространения волны.

**Волны называют продольными**, если колебания в них происходят вдоль направления их распространения.

**Поперечные волны распространяются** только в твёрдых телах и вдоль границ раздела сред с различными физическими свойствами, например, на границе между водой и воздухом (на поверхности воды), т.к. за механизм их возникновения ответственна деформация сдвига, которая возможна только в твёрдых телах или на границе раздела сред, обладающей упругими свойствами. Примером поперечных волн могут служить электромагнитные волны, волны на поверхности воды.

**Продольные волны могут существовать** в любых средах, т.к. за механизм их возникновения ответственна деформация растяжения-сжатия, которая может возникать в любых средах. Примером продольных волн могут служить звуковые волны в воздухе.

Расстояние, на которое распространяется волна за один период называется **длиной волны**. Или другое определение: кратчайшее расстояние между точками, колеблющимися в одинаковой фазе, называется **длиной волны**.

## Параметры волны



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

- Длина [нм]
- Частота [Гц]
- Амплитуда [дБ]
- Период колебания [нс]

Волны, частота которых лежит в диапазоне от 16 Гц до 20 кГц, называются **звуковыми** или **акустическими**.

Скорость звука в воздухе порядка 340 м/с. Она изменяется в зависимости от температуры, плотности, влажности, атмосферного давления. Чем выше плотность среды, тем больше скорость звука. Например, в твёрдых телах она составляет тысячи м/с.

**Громкость звука** зависит от амплитуды колебаний частиц в волне. Чем больше амплитуда колебаний, тем выше громкость звука.

**Высота тона** зависит от частоты. Чем выше частота, тем выше тон.

**Принцип суперпозиции волн:** при распространении в среде нескольких волн каждая из них распространяется так, как будто другие волны отсутствуют, а результирующее смещение частиц среды в любой момент времени равно геометрической сумме смещений, которые получают частицы, участвуя в каждом из слагающих волновых процессов.

**Когерентность** - согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов.

**Когерентные волны** - это волны одинаковой частоты, разность фаз которых в процессе распространения остается постоянной во времени.

**Интерференция волн** - сложение когерентных волн, при котором в разных точках пространства получается устойчивая картина усиления или ослабления амплитуды результирующей волны.

**Условия интерференционных максимумов:**

разность хода волн равна чётному числу длин полуволен или целому числу длин волн.

$$\Delta r = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

где  $r$  - разность хода волн,  $\lambda$  - длина волны,  $k = 0, 1, 2, \dots$

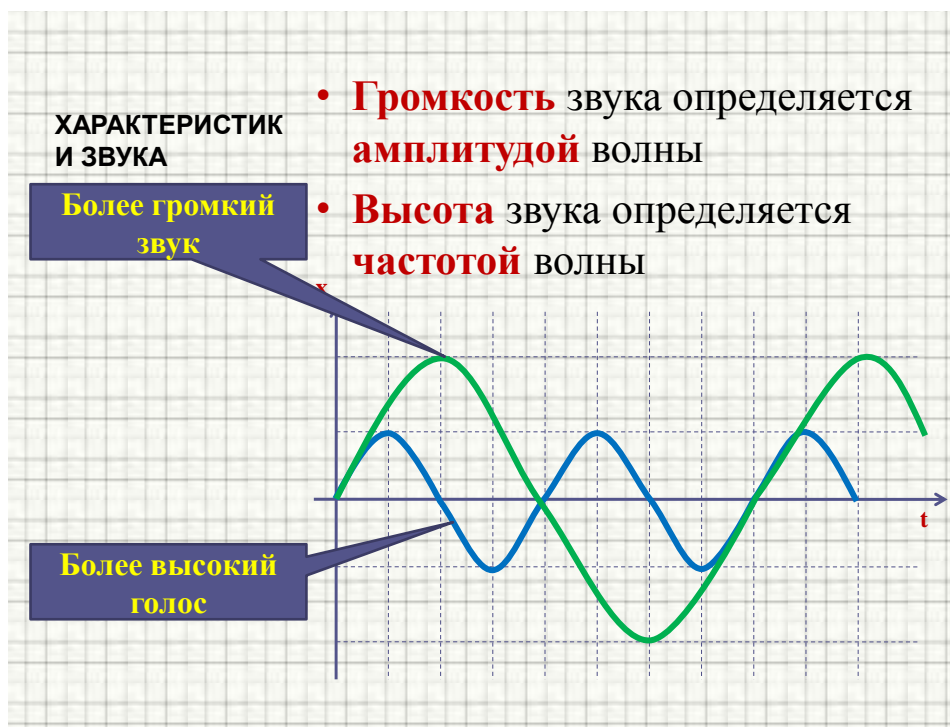
**Условия интерференционных минимумов:** разность хода волн равна нечётному числу длин полуволен.

$$\Delta r = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

где  $r$  - разность хода волн,  $\lambda$  - длина волны,  $k = 0, 1, 2, \dots$

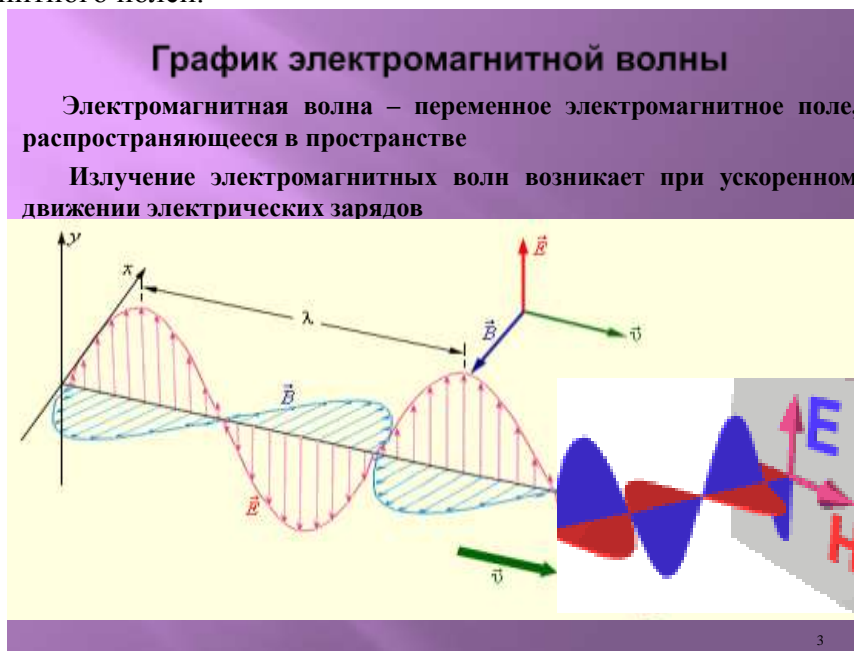
**Инфразвук** - волны с частотами меньше 16 Гц.

**Ультразвук** - волны с частотами больше 20 кГц.



**Ультразвук** - механические колебания, находящиеся выше области частот, слышимых человеческим ухом (обычно 20 кГц). Ультразвуковые колебания перемещаются в форме волны, подобно распространению света. Однако в отличие от световых волн, которые могут распространяться в вакууме, ультразвук требует упругую среду такую как газ, жидкость или твердое тело.

**Электромагнитные колебания** - взаимосвязанные колебания электрического и магнитного полей.



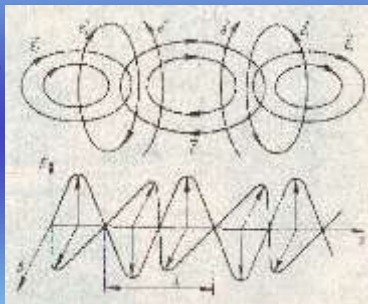
Электромагнитные колебания появляются в различных электрических цепях. При этом колеблются величина заряда, напряжение, сила тока, напряженность электрического поля, индукция магнитного поля и другие электродинамические величины.

Электромагнитные колебания описываются теми же законами, что и механические, хотя физическая природа этих колебаний совершенно различна.

## Электромагнитная волна

-распространяющееся в пространстве  
электромагнитное поле со скоростью света

$$c_0 = 300\,000 \text{ км/с}$$



Электрические колебания - частный случай электромагнитных, когда рассматривают колебания только электрических величин. В этом случае говорят о переменном токе, напряжении, мощности и т.д.

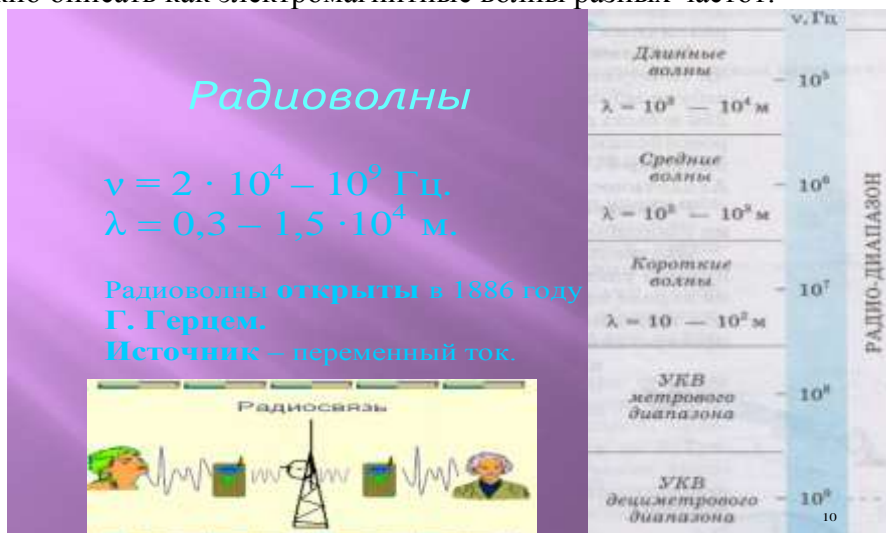
### КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Колебательный контур - электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора емкостью  $C$ , катушки индуктивностью  $L$  и резистора сопротивлением  $R$ .

Возьмем заряженный конденсатор и замкнем его через катушку. Заряды начнут двигаться с одной пластины на другую, потечет электрический ток, причем он будет нарастать постепенно. И только к тому моменту, когда конденсатор будет разряжен, ток достигнет своего максимального значения. При этом заряды будут продолжать двигаться, конденсатор будет заряжаться – всё как с маятником (груз проскакивает положение равновесия и движется по инерции). Как только конденсатор начнет заряжаться, возникнет сила, направленная на уменьшение электрического тока. Но ток в катушке не уменьшается мгновенно, поэтому, пока ток уменьшится до нуля, конденсатор успеет зарядиться. Получили снова исходные условия: заряженный конденсатор, замкнутый через катушку, поэтому процесс будет повторяться.

Электромагнитные возмущения (в том числе и колебательные) могут распространяться со временем. Причем если механические волны – это изменения параметров вещества, то электромагнитные – это изменение параметров поля, поэтому для распространения электромагнитных волн вещество не нужно.

Радиоволны, видимый свет, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения – их все можно описать как электромагнитные волны разных частот.





**Передача энергии.** Электромагнитная волна, как и механическая, сопровождается переносом энергии. Передача энергии через излучение – один из видов теплопередачи. Этот вид теплопередачи осуществляется как раз с помощью электромагнитных волн

Как и механические, электромагнитные волны удобно использовать для передачи информации. Они распространяются на большие расстояния, проникают сквозь препятствия.


**Свойства**  
**электромагнитных волн**

- Отражение (проводники)
- Преломление (диэлектрики)
- Поглощение (водой)
- Рассеивание (в пространстве)
- Интерференция
- Дифракция
- Поляризация

Свет может рассматриваться либо как электромагнитная волна, скорость распространения в вакууме которой постоянна, либо как поток фотонов — частиц, обладающих определённой энергией, импульсом, собственным моментом импульса и нулевой массой (или, как говорили ранее, нулевой массой покоя).

**Дисперсия света**

■ *Дисперсией называется зависимость показателя преломления среды от частоты световой волны.*



■ *Явление дисперсии, открытое Ньютоном, - первый шаг к пониманию природы цвета. Основательно понять дисперсию смогли лишь после того, как была выявлена зависимость цвета от частоты колебаний ( или длины световой волны).*

**Преломлением** света называется изменение направления распространения света (световых лучей) при прохождении через границу раздела двух различных прозрачных сред.

Свет создаётся во многих физических процессах, в которых участвуют заряженные частицы. Наиболее важным является тепловое излучение, имеющее непрерывный спектр с максимумом, положение которого определяется температурой источника. В частности, излучение Солнца близко к тепловому излучению абсолютно чёрного тела, нагретого до примерно 6000 К, причём около 40 % солнечного излучения лежит в видимом диапазоне, а максимум распределения мощности по спектру находится вблизи 550 нм (зелёный цвет). Другие процессы, являющиеся источниками света: