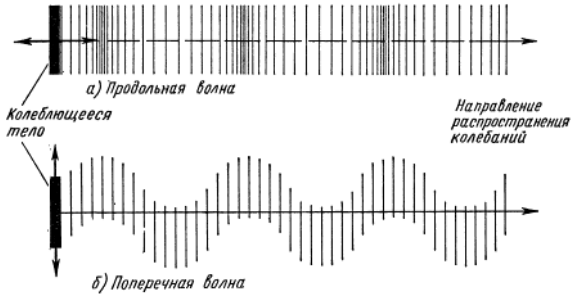
Тема: Механические и электромагнитные волны

Волной называется процесс распространения колебаний в пространстве.
В природе бывают механические и электромагнитные волны.
Механической волной называется процесс распространения механических колебаний в упругой среде.
Электромагнитной волной называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.
Монохроматической называется волна какой-либо определённой частоты или длины волны.

Волны бывают ***поперечными*** и ***продольными***.



Продольной называется волна, при распространении которой частицы среды колеблются в направлении распространения волны.
Поперечной называется волна, при распространении которой частицы среды колеблются в направлении перпендикулярном распространению волны.

Механические волны бывают как ***поперечными,*** так и ***продольными***.
Распространяться механические волны могут только в веществе (в вакууме механические волны не распространяются).
Продольные волны – это сгущения и разрежения среды. Поэтому такие волны могут существовать в любых телах – твёрдых, жидких, газообразных.
Поперечные механические волны могут распространяться только в твёрдых телах, так как для распространения такой волны необходимо жёсткое расположение частиц среды, чтобы между ними могли возникать силы упругости.
Электромагнитные волны бывают ***только поперечными***. Они могут распространяться в любых средах: газах, жидкостях, твёрдых телах и даже в вакууме.
При распространении механической волны происходят колебания молекул (или частиц) вещества.
Частицы поперечной волны колеблются поперёк направления распространения волны (направления переноса энергии), а частицы продольной – вдоль направления распространения волны.
При распространении электромагнитной волны происходят колебания вектора напряжённости электрического поля $\vec{E}$ и вектора магнитной индукции.

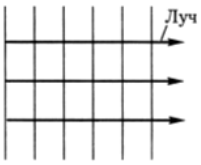
Фазовой (или волновой) поверхностью называется геометрическое место точек, в которых фаза колебаний имеет одно и то же значение.
Фронтом волны называется геометрическое место точек в пространстве, до которых дошла волна.

Уравнение плоской бегущей незатухающей гармонической волны

$$\xi(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi), \qquad (18)$$

где A - амплитуда волны; r - расстояние от источника волны, *м*;

$k = \dfrac{\omega}{v} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число, $\dfrac{1}{м}$.



Плоской называется волна, фазовые поверхности которой представляют собой совокупность параллельных друг другу плоскостей.

Бегущей называется волна, при распространении которой происходит перенос энергии в пространстве.
Незатухающей называется волна, амплитуда которой не изменяется при распространении волны.
Гармонической называется волна, при распространении которой частицы среды совершают гармонические колебания.

Основные характеристики волны

Периодом волны T (тэ) называется период колебаний частиц среды при распространении волны.
(в случае электромагнитной волны – это период колебаний электрического и магнитного полей волны).
$[T] = c$

Частотой волны ν (ню) называется частота колебаний частиц среды при распространении волны.
(в случае электромагнитной волны – это частота колебаний электрического и магнитного полей волны).
$[\nu] = Гц$

Циклической частотой волны ω (омега) называется величина, равная

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

$[\omega] = \frac{рад}{c}$.

Амплитудой волны A (а) называется максимальное смещение частиц среды от положения равновесия при распространении волны.
(в случае электромагнитной волны – это максимальная величина напряжённости электрического и напряжённости магнитного полей волны).

Фазовой скоростью волны υ (вэ) называется скорость распространения в пространстве фазовой поверхности волны.

$[\upsilon] = \frac{м}{c}$.

В ***случае механических волн*** фазовую скорость волны υ можно определить по формуле $\upsilon = \lambda\nu$.
где υ - скорость волны, *м/с*; λ - длина волны, *м*; ν - частота волны, *Гц*.

При переходе механической волны через границу раздела двух сред частота волны ν не изменяется (она определяется частотой колебаний источника волн), а длина волны λ изменяется (чем больше плотность среды, тем больше длина волны λ и, соответственно, больше фазовая скорость распространения механической волны υ).

В ***случае электромагнитных волн*** фазовую скорость волны υ можно определить по следующим формулам:

- *в вакууме* $c = \lambda_0\nu$,

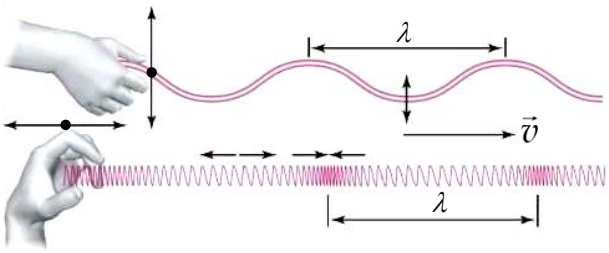
где $c = 3\cdot 10^8 \frac{м}{c}$ - скорость света в вакууме; λ_0 - длина электромагнитной волны в вакууме, *м*;
ν - частота электромагнитной волны, *Гц*.

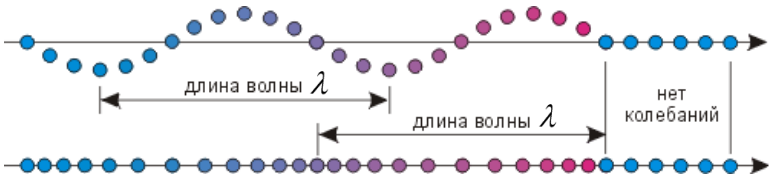
- *в веществе* $\upsilon = \frac{c}{n} = \lambda\nu$,

где $c = 3\cdot 10^8 \frac{м}{c}$ - скорость света в вакууме;
n - абсолютный показатель преломления вещества (табличная величина, безразмерная);
λ - длина электромагнитной волны в веществе, *м*; ν - частота электромагнитной волны, *Гц*.

При переходе электромагнитной волны через границу раздела двух сред частота волны ν не изменяется (она определяется частотой колебаний источника волн), а длина волны λ изменяется (чем больше оптическая плотность среды (то есть больше абсолютный показатель преломления вещества n, тем меньше длина волны λ и, соответственно, меньше фазовая скорость распространения механической волны υ).

Длиной волны λ называется расстояние между ближайшими частицами волны, колеблющимися в одинаковых фазах (то есть, частицами, находящимися в одинаковом состоянии).

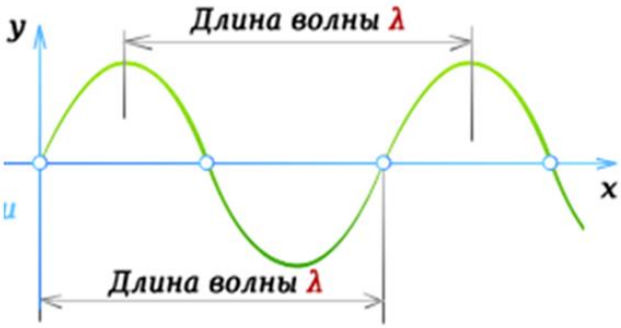


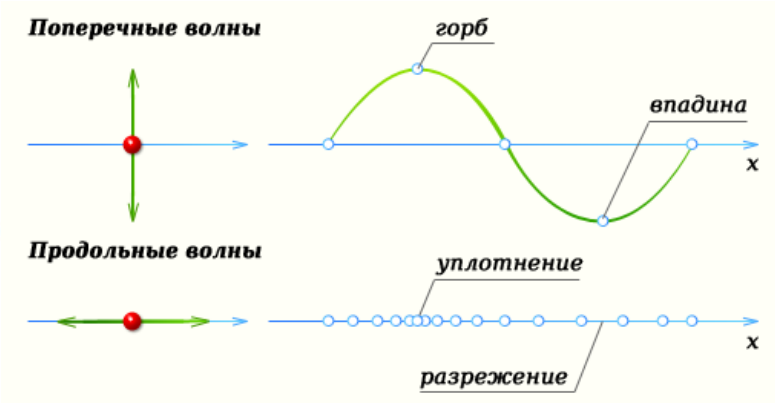


Длина волны равна тому расстоянию, на которое распространяется волна за период колебаний ее источника, то есть

$$\lambda = vT$$

где v – скорость распространения волны; T – период волны;





Из рисунков видно, что длина волны равна расстоянию между ближайшими горбами или впадинами в случае поперечных волн или между ближайшими сжатиями или разряжениями среды в случае продольных волн.

Дифференциальное уравнение волны (волновое уравнение)

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\xi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\xi}{\partial z^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} \quad \text{или} \quad \Delta\xi=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}, \qquad (20)$$

где $\Delta=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа (он равен сумме вторых частных производных какой-либо величины ξ (кси) по координатам); v - фазовая скорость волны.

Решением уравнения (20) является уравнение любого волнового процесса. Соответствующей подстановкой можно убедиться, что уравнению (20) удовлетворяют, в частности, уравнение плоской волны (18) и уравнение сферической волны (19). Для плоской волны, распространяющейся вдоль оси *x,* волновое уравнение имеет вид

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}.$$

Связь между разностью фаз колебаний двух точек волны и расстоянием между ними

$$\Delta\varphi=\kappa\left(x_2-x_1\right)=\frac{2\pi}{\lambda}\left(x_2-x_1\right)=\frac{\omega}{v}\left(x_2-x_1\right),$$

где $\Delta\varphi$ - разность фаз колебаний в двух точках волны, *рад*; λ - длина волны, *м*;

$\left(x_2-x_1\right)$ - разность координат двух точек волны, *м;*

$\kappa=\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{\omega}{v}$ - волновое число, $\frac{1}{м}$;

λ - длина волны, м; ω -циклическая частота волны, $\frac{рад}{с}$; v -фазовая скорость волны, $\frac{м}{с}$.

Звук

Акустикой называется раздел физики, изучающий звуковые явления.

Звуком называются механические волны малой интенсивности частотой от 16 Гц до 20 000 Гц, воспринимаемые органами слуха человека.

Инфразвуком называются механические волны с частотой менее 16 Гц.

Ультразвук называются механические волны с частотой более 20 кГц.

Звук по своей физической сущности представляет собой волновой процесс, распространяющийся в среде в виде колебаний молекул вещества и переносящий в различных направлениях энергию этих колебаний.

Основные характеристики звука

Различают объективные (не зависящие от органов чувств человека) и субъективные (зависящие от органов чувств человека) характеристики.

Объективные характеристики звука

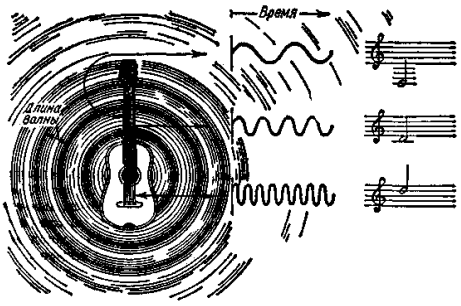
Объективной характеристикой звука является интенсивность звуковой волны I.

Интенсивностью звуковой волны I называется скалярная величина, равная отношению энергии dW, которую переносит волна за время dt через поверхность $dS_{\perp}$, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, то есть

$$I = \frac{dW}{dS_{\perp} dt}.$$

$[I] = \frac{Вт}{м^2}$, Ватт на метр квадратный.

Субъективные характеристики звука



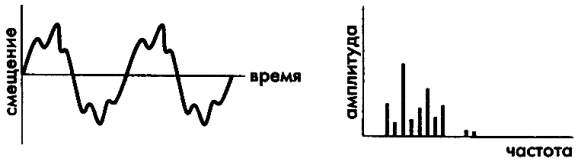
Громкость – это субъективная характеристика звука, зависящая при одной и той же частоте звука от его амплитуды (чем больше амплитуда волны, тем громче звук).

Высота - это субъективная характеристика звука, определяемая частотой волны (чем больше частота, тем выше звук).

Тембр - это субъективная характеристика звука, определяемая акустическим спектром волны и позволяющая на слух различать звуки одной и той же частоты, но создаваемые разными источниками (например, отличить скрипку от гитары, различать голоса людей, слушать музыку и т. д.)

Музыкальным тоном (или **чистым звуком**) называется звуковая гармоническая волна какой-то определённой частоты (создаётся камертоном или звуковым генератором)

Форма реальной звуковой волны отличается от гармонической. Её можно представить в виде суммы нескольких гармонических звуковых волн с разной частотой ν и амплитудой A. В этом случае говорят об акустическом спектре волны.



Разные источники звука имеют свой акустический спектр, который и определяет тембр данной звуковой волны.

Тембр звука определяется формой звуковой волны.

Свет

Светом называются электромагнитные волны с длиной волны от 380 *нм* до 760 *нм*, которые воспринимаются органами зрения человека. (*нм*- это нанометр) (1 *нм* = 10^{-9} *м*).

Электромагнитной волной (ЭМВ) называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

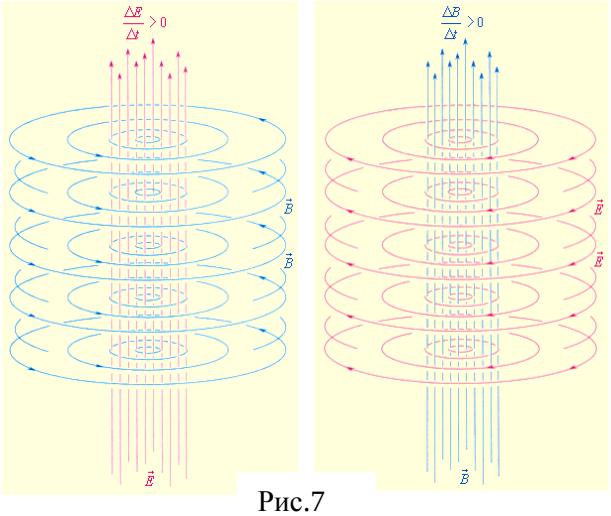


Рис.7

Из уравнений Максвелла следует, что переменное магнитное поле порождает вокруг себя вихревое электрическое поле, а переменное электрическое поле порождает вокруг себя магнитное поле (см. рис. 7).

Таким образом, взаимно превращаясь друг в друга, они могут распространяться в пространстве в виде электромагнитных волн.

Из теории Дж. Максвелла следует, что электромагнитная волна является поперечной (см. рис. 8).

В электромагнитной волне вектора напряжённости электрического поля $\vec{E}$ и напряжённости магнитного поля $\vec{H}$ колеблются в одинаковых фазах во взаимно перпендикулярных плоскостях и одновременно перпендикулярно вектору скорости $\vec{v}$ распространения волны (перпендикулярно лучу). Наблюдения показывают, что физиологические, фотохимические, фотоэлектрические и другие свойства света обусловлены колебаниями электрического вектора $\vec{E}$ в световой волне. Поэтому вектор $\vec{E}$ называют обычно ***световым вектором***.

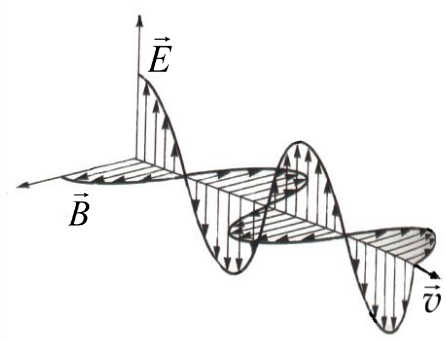


Рис. 8 Распределение проекций векторов *E* и *H* в электромагнитной волне по направлению её распространения

Скорость света (и любых электромагнитных волн) в вакууме равна $c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$, а в веществе можно определить по формуле: $v = \frac{c}{n}$,

где n - абсолютный показатель преломления вещества (табличная величина, безразмерная).

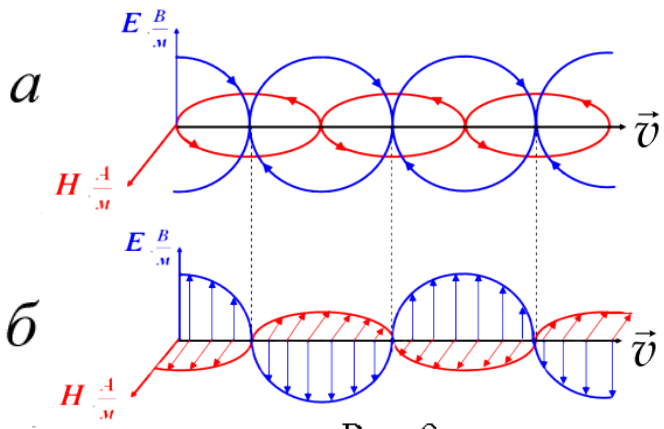


Рис. 9

Из анализа уравнений Максвелла следует, что в электромагнитной волне колебания векторов напряжённости электрического поля $\vec{E}$ и магнитного поля $\vec{H}$ происходят синфазно (то есть одинаково), причём в любой момент времени выполняется условие $\varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2$.

На рис. 9 (а) изображены силовые линии электрического и магнитного полей волны при её распространении в пространстве, а на рис. 9 (б) дано распределение проекций векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$ вдоль направления распространения электромагнитной волны.

Шкала электромагнитных волн

К электромагнитным волнам относятся:

- гамма-излучение (электромагнитные волны с длиной $\lambda < 10^{-12}\,м$),
- рентгеновское излучение (электромагнитные волны с длиной $10^{-12}\,м < \lambda < 10^{-10}\,м$),
- ультрафиолетовое излучение (электромагнитные волны с длиной $10^{-10}\,м < \lambda < 0{,}38\cdot10^{-6}\,м$),
- свет (электромагнитные волны с длиной $0{,}38\cdot10^{-6}\,м < \lambda < 0{,}76\cdot10^{-6}\,м$),
- инфракрасное излучение (электромагнитные волны с длиной $0{,}76\cdot10^{-6}\,м < \lambda < 10^{-3}\,м$),
- радиоволны (электромагнитные волны с длиной $\lambda > 10^{-3}\,м$).