

Тема: Механические и электромагнитные волны

Волной называется процесс распространения колебаний в пространстве.

Механической (или упругой) волной называется процесс распространения механических колебаний в сплошной упругой среде.

(например: звуковые волны, волны на поверхности жидкости, сейсмические волны и др.)

Сплошной называется среда, молекулярным строением которой (то есть наличием промежутков между молекулами) в условиях данной задачи можно пренебречь.

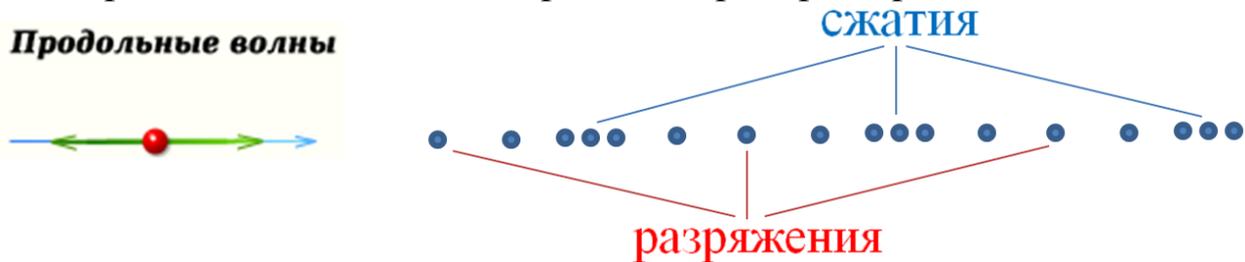
Упругой называется среда, между частицами которой существуют силы упругого взаимодействия, препятствующие каким-либо деформациям этой среды.

Электромагнитной волной называется процесс распространения в пространстве переменного электромагнитного поля.

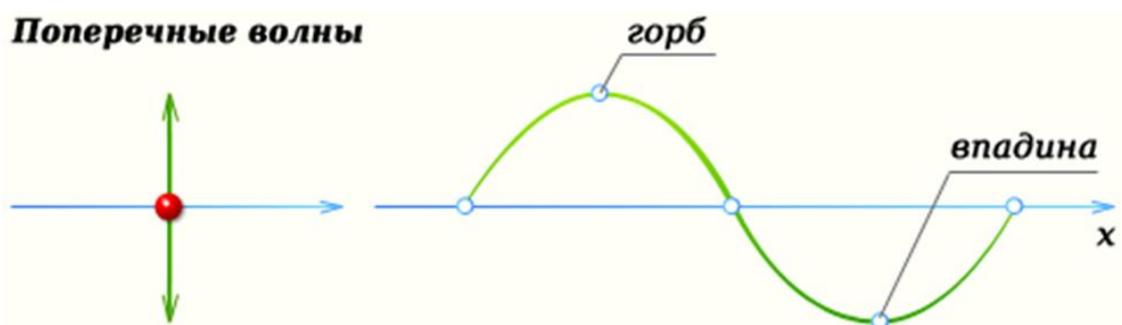
(например: световые волны, радиоволны, рентгеновское, тепловое и ультрафиолетовое излучение, гамма-излучение)

Волны бывают продольные, поперечные и гравитационные.

Продольной называется волна, при распространении которой частицы среды совершают колебания в направлении распространения волны.



Поперечной называется волна, при распространении которой частицы среды совершают колебания в направлении перпендикулярном направлению распространения волны.



Для распространения механических волн необходима какая-либо среда (твёрдая, жидкая или газообразная). В вакууме механические волны распространяться не могут.

Продольные механические волны могут распространяться в твёрдых, жидких и газообразных средах (так как для их распространения в среде необходимо существование деформации сжатия).

Поперечные механические волны могут распространяться только в твёрдых телах (так как для их распространения в среде необходимо существование деформации сдвига, которая возможна только в твёрдых телах).

Электромагнитные волны могут распространяться во всех средах, в том числе и в вакууме.

Особенности распространения волн в веществе

1. При распространении волны частицы среды не движутся вместе с волной, а совершают колебания около своих положений равновесия;

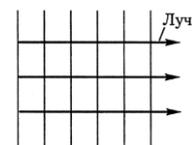
2. основным свойством всех видов волн является перенос энергии без переноса вещества (колебания источника волн передаются частицами среды друг другу и, таким образом, энергия колебаний источника волн распространяется в пространстве);

3. волны при взаимодействии с веществом могут ими **поглощаться**, **проходить через вещество**, **преломляться** или **отражаться** на границе раздела двух сред, **дифрагировать** (то есть огибать препятствия) и при определённых условиях **интерферировать** друг с другом (то есть накладываться друг на друга, в результате чего в одних точках пространства будет наблюдаться усиление колебаний, а в других точках пространства ослабление колебаний).

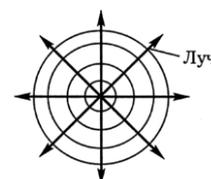
Фронт волны называется геометрическое место точек пространства, до которых дошла волна (то есть – это граница, отделяющая колеблющиеся частицы среды от частиц ещё не начавших совершать колебания)

Волновой поверхностью называется геометрическое место точек пространства, в которых фаза колебаний имеет одно и то же значение.

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



Сферической называется волна, фазовые поверхности которой представляют собой совокупность концентрических (то есть с общим центром) сфер.



Основные характеристики волны

Периодом волны T (тэ) называется период колебаний частиц среды при распространении механической волны.

(в случае распространения электромагнитной волны - это период колебаний векторов напряжённости электрического E и магнитного H полей).

$$[T] = c, \text{ секунда.}$$

Частотой волны ν (ню) называется частота колебаний частиц среды при распространении механической волны.

(в случае распространения электромагнитной волны - это частота колебаний векторов напряжённости электрического E и магнитного H полей).

$$[\nu] = \frac{1}{c} \equiv \text{Гц}, \text{ Герц.}$$

Циклической частотой волны ω называется величина, равная

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

$$[\omega] = \frac{\text{рад}}{c}.$$

Амплитудой волны A называется максимальное смещение ξ (кси) частиц среды от положения равновесия при распространении механической волны.

(в случае распространения электромагнитной волны - это максимальные значения напряжённости электрического E ($\frac{B}{m}$) и магнитного H ($\frac{A}{m}$) полей).

Длиной волны λ (лямбда) называется кратчайшее расстояние между двумя точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах.

$$[\lambda] = m.$$

Скорость распространение волн в веществе

Монохроматической называется волна какой-либо определённой частоты ν (или длины волны λ).

Фазовая скорость волны v

Фазовой скоростью волны v (вэ) называется скорость распространения фазовой поверхности данной монохроматической волны.

Механические волны

Скорость распространения механической волны в среде: $v = \lambda \nu$,
где λ - длина волны, м (метр); ν - частота волны, Гц (Герц).

Электромагнитные волны

Скорость света (и любых электромагнитных волн) в вакууме равна

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} = \lambda_0 \nu,$$

где λ_0 - длина электромагнитной волны в вакууме, м (метр);

ν - частота электромагнитной волны, Гц (Герц),

а в веществе можно определить по формуле: $v = \frac{c}{n} = \lambda \nu$,

где $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость света в вакууме,

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

λ - длина электромагнитной волны в веществе, м (метр);

ν - частота электромагнитной волны, Гц (Герц).

Дифференциальное уравнение волнового процесса (волновое уравнение)

Любой волновой процесс, распространяющийся в пространстве, описывается следующим дифференциальным уравнением:

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

где ξ (кси) - это величина, которая описывает волновой процесс (например, смещение частиц среды x от положения равновесия при распространении механических волн или проекции векторов напряжённости электрического E или магнитного H полей на направление распространения волны),

$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2}$, $\frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2}$ - вторые частные производные функции ξ по координатам,

$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$ - вторые частные производные функции ξ по времени,

v - фазовая скорость распространения волны.

Уравнение плоской гармонической бегущей волны

Гармонической называется волна, при распространении которой частицы среды совершают гармонические колебания.

Бегущей называется волна, при распространении которой происходит перенос энергии в пространстве.

Одним из решений волнового уравнения (1) является уравнение плоской гармонической бегущей волны, которое имеет следующий вид:

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi), \quad (2)$$

где A - амплитуда волны (то есть амплитуда колебаний частиц среды (в случае механических колебаний) или амплитуда колебаний векторов напряжённости электрического E и магнитного H полей (в случае электромагнитной волны) при распространении волны),

ω - циклическая частота волны (то есть циклическая частота колебаний частиц среды или колебаний векторов напряжённости электрического и магнитного полей), $[\omega] = \frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$ - волновое число, $[k] = \frac{1}{\text{м}}$;

x - координата рассматриваемой точки волны, м;

φ - начальная фаза волны, рад, (радиан).

Интенсивность волны I

Для сравнения волн между собой ввели понятие **интенсивности волны**.

Интенсивностью волны I (и) называется скалярная величина, равная энергии dW , переносимой за время dt через площадку dS , расположенную перпендикулярную направлению распространения волны.

$$I = \frac{dW}{dS dt},$$

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

Механические волны. Звук

Примером механических волн являются звуковые волны, инфразвук и ультразвук.

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

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.

Инфразвуком называются механические волны с частотой менее 16 Гц.

Ультразвуком называются механические волны с частотой более 20 кГц.

Субъективные характеристики звука

Субъективными называются характеристики, зависящие от органов чувств человека.

Различают следующие субъективные характеристики звука:

- громкость,
- высота,
- тембр.

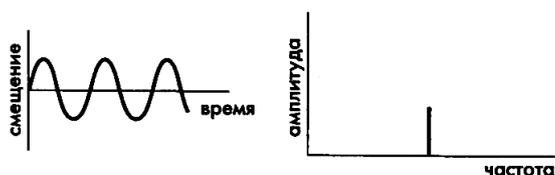
Громкостью называется субъективная характеристика звука, зависящая при одной и той же частоте звука от его амплитуды (чем больше амплитуда волны, тем громче звук).

Высотой называется субъективная характеристика звука, определяемая частотой волны (чем больше частота, тем выше звук).

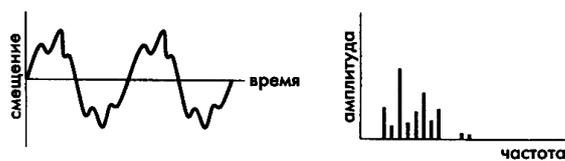
Тембром называется субъективная характеристика звука, определяемая формой волны и позволяющая на слух различать звуки одной и той же частоты, но создаваемые разными источниками (например, отличить скрипку от гитары, различать голоса людей, слушать музыку и т. д.)

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 и амплитудой. В этом случае говорят об **акустическом спектре волны**.



Музыкальный тон



Реальный звук

Электромагнитные волны

Электромагнитной волной называется процесс распространения в пространстве переменного электромагнитного поля.

Модель плоской монохроматической электромагнитной волны в вакууме

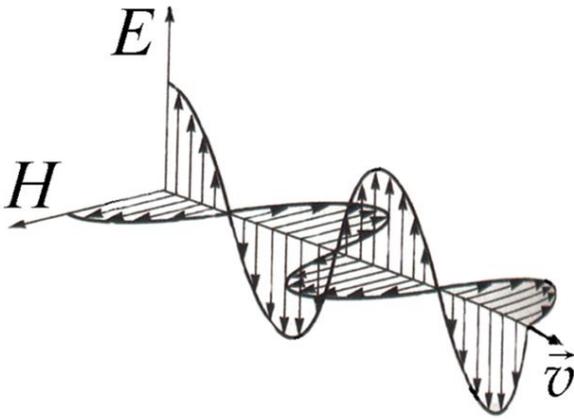


Рис. 7

Распределение проекции векторов \vec{E} и \vec{H} на направление распространения плоской электромагнитной волны в вакууме

Из решения уравнений Максвелла следует существование в природе электромагнитных волн, которые обладают следующими особенностями: 1) в случае плоской электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме, вектора напряжённости электрического поля \vec{E} и напряжённости магнитного поля \vec{H} колеблются синфазно (то есть в одинаковых фазах) во взаимно перпендикулярных плоскостях и одновременно перпендикулярно вектору скорости \vec{v} распространения волны (см. рис).

Таким образом, из теории Максвелла следует, что плоская электромагнитная волна является поперечной.

2) в электромагнитной волне в любой момент времени выполняется условие:

$$\varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2.$$

3) вектор скорости волны \vec{v} сонаправлен с вектором $[\vec{E}\vec{H}]$.

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

Свет

Оптическим диапазоном называются электромагнитные волны с длиной волны $\lambda = (10^{-4} \div 10^{-8}) \text{ м}$.

В него входят **ультрафиолетовое излучение (УФ)**, **свет** и **инфракрасное излучение (ИК)**.

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

Свету присущи все свойства электромагнитных волн: отражение, преломление, интерференция, дифракция, поляризация.

Свет может оказывать давление на вещество, поглощаться средой, вызывать явление фотоэффекта.

Наблюдения показывают, что:

- свет переносит с собой энергию. Энергию в пространстве могут переносить либо движущиеся частицы (тогда свет – это поток частиц), либо распространяющиеся в пространстве волны (тогда свет - это волна);
- существует ряд явлений (**дифракция, поляризация, интерференция**), которые можно объяснить только волновой природой света (то есть свет - это волна);
- существует ряд явлений (**особенности излучения и поглощения света, фотоэффект, явление Комптона и др.**), которые можно объяснить только корпускулярной природой света (то есть свет - это поток частиц).

Таким образом, в одних случаях свет ведёт себя как волна, а в других случаях как поток частиц, то есть свет проявляет двойственную корпускулярно-волновую природу.

Возникает вопрос: **что собой представляет свет?**

Современные представления о свете

1. Свет представляет собой поток особых частиц, называемых **квантами** света или **фотонами**.

Кванты света излучаются атомами вещества при переходе электронов с орбиты с большей энергией на орбиту с меньшей энергией, в результате чего излишек энергии за время перехода ($\approx 10^{-8} \text{ с}$) излучается в виде кванта света, который представляет собой ограниченный в пространстве, так называемый, **цуг** электромагнитной волны длиной $\approx 3 \text{ м}$.

2. Каждый фотон несёт с собой энергию

$$E_{\phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ - постоянная Планка,

ν - частота световой волны,

λ - длина световой волны).

Фотон существует только в движении. Движущийся фотон обладает массой

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} \text{ и импульсом } p_{\phi} = \frac{h}{\lambda} = m_{\phi} c.$$

Так как покоящихся фотонов не существует, то говорят, что масса покоя фотона равна нулю.

3. Корпускулярные свойства света проявляются именно в том, что свет всегда излучается, распространяется в пространстве и поглощается веществом только порциями (то есть квантами). Причём поглощается фотон всегда целиком, а не частями. При поглощении фотон исчезает, передав свой импульс и энергию веществу.