Тема: Механические и электромагнитные волны

Волной называется процесс распространения колебаний в пространстве.

Различают механические (или упругие) волны и электромагнитные волны.

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

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

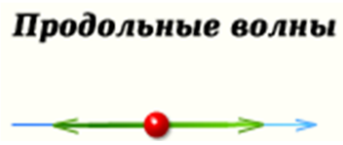
Сплошной называется среда, молекулярным строением которой (то есть наличием промежутков между молекулами) в условиях данной задачи можно пренебречь.

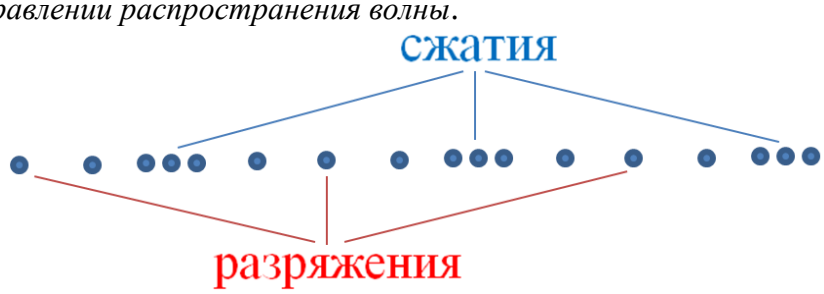
Упругой называется среда, между частицами которой существуют силы упругого взаимодействия, препятствующие каким-либо деформациям этой среды.

Электромагнитной волной называется процесс распространения в пространстве переменного электромагнитного поля (например: световые волны, радиоволны, рентгеновское, тепловое и ультрафиолетовое излучение, гамма-излучение)

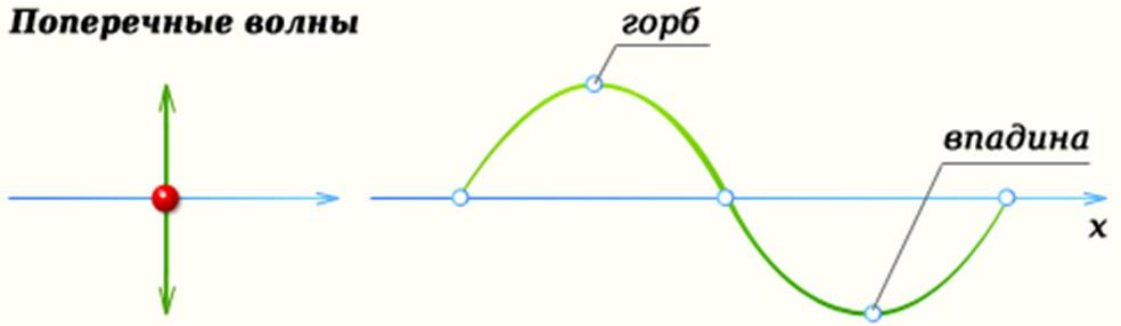
Волны бывают продольные, поперечные и гравитационные.

Продольной **(или волной сжатия)** *называется волна, при распространении которой частицы среды совершают колебания в направлении распространения волны.*





Поперечной **(или волной сдвига)** *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.

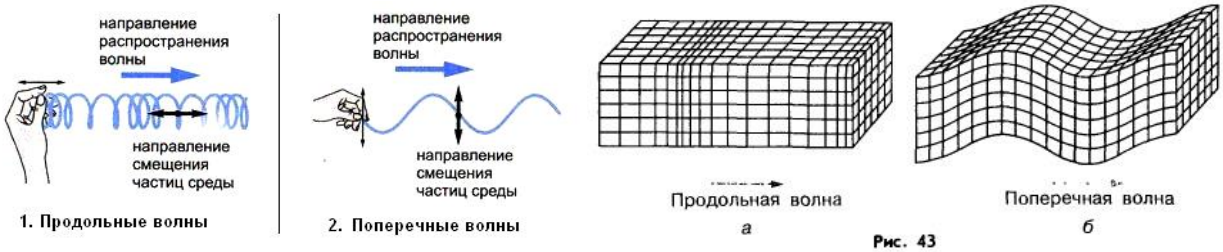


Рис. 43

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. (если бы электромагнитные волны не могли распространяться в вакууме, то мы с Вами сейчас бы не общались, так как на Земле не возникла бы жизнь. Это связано с тем, что тепло на Землю приносит именно электромагнитное излучение Солнца, распространяющееся в вакууме)

Название	*Характерная особенность*	*Среда*	*Механизм образования*
Поперечная волна	Направление колебаний частиц среды перпендикулярно направлению распространения волны	Распространяется в твердых телах	Механические волны образуются благодаря инертности частиц среды и взаимодействию между ними, проявляющемуся в существовании сил упругости; каждая частица среды совершает колебательное движение такое же, что и первая частица, приведенная в колебания; период колебаний всех частиц среды одинаков; колебание каждой частицы происходит с запаздыванием, которое обусловлено ее инертностью и конечностью скорости распространения волны; это запаздывание тем больше, чем дальше находится частица от источника колебаний
Продольная волна	Направление колебаний частиц среды совпадает с направлением распространения волны	Распространяется в газах, жидкостях и твердых телах	

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).

Название	*Определение*
Отражение	Изменение направления распространения на границе двух сред
Преломление	Изменение направления распространения при переходе из одной среды в другую
Дисперсия	Зависимость скорости света в среде от частоты падающего света
Дифракция	Огибание волной преграды
Интерференция	Сложение волн, в результате которого наблюдается устойчивая картина распределения максимумов и минимумов колебаний

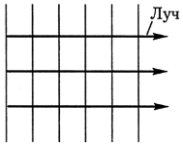
Волновым полем называется область пространства, внутри которой колеблются все частицы среды.

Фронтом 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)

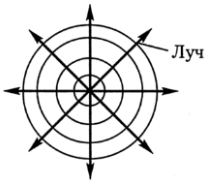
Волновой поверхностью называется геометрическое место точек пространства, в которых фаза колебаний имеет одно и то же значение.

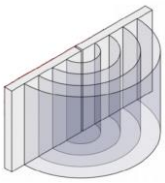
Фронт волны и её волновые поверхности могут быть:
- плоскими,
- сферическими,
- цилиндрическими,
- произвольной формы.

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.





Цилиндрической называется волна, фазовые поверхности которой представляют собой совокупность имеющих общую ось цилиндров.

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).

$[T] = c$, 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).

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

Циклической частотой волны ω называется величина, равная

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

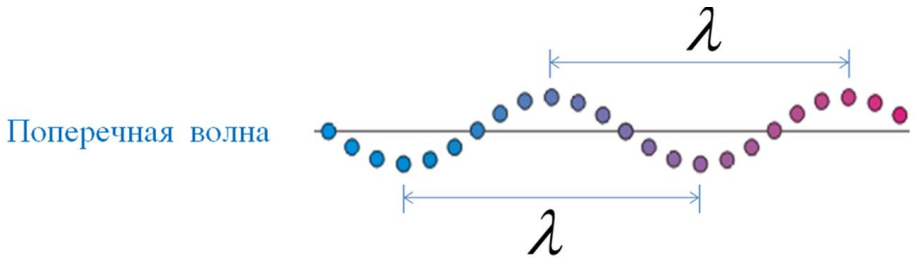
$$[\omega] = \frac{рад}{c}.$$

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 ($\frac{В}{м}$) и магнитного H ($\frac{А}{м}$) полей).

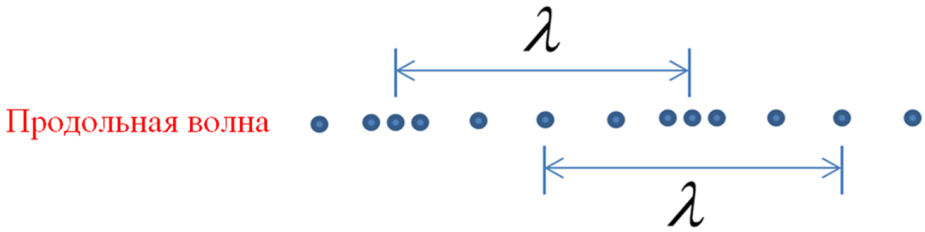
Длиной волны λ (лямбда) называется кратчайшее расстояние между двумя точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах.

$[\lambda] = м$.

В случае поперечной волны длина волны λ равна расстоянию между соседними гребнями или впадинами.



В случае продольной волны длина волны λ равна расстоянию между соседними сжатиями или разряжениями.



Скорость распространение волн в веществе

Волны в веществе распространяются с конечной скоростью. Различают фазовую (вэ) υ (вэ) и групповую u (у) скорости волн.

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

Фазовая скорость волны υ

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

Механические волны

Скорость распространения механической волны в среде: $\upsilon = \lambda\nu$,

где λ - длина волны, *м* (метр); ν - частота волны, *Гц* (Герц).

При переходе механической волны в более плотную среду, её частота не изменяется ($\nu = const$), а длина волны λ (и фазовая скорость волны υ) увеличиваются.

Чем больше плотность вещества ρ (ро), тем больше длина волны λ и её фазовая скорость υ.

Электромагнитные волны

Скорость света (и любых электромагнитных волн) в вакууме равна $c = 3\cdot 10^8 \dfrac{м}{с} = \lambda_0\nu$,

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

ν - частота электромагнитной волны, *Гц* (Герц),

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

где $c = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3\cdot 10^8 \dfrac{м}{с}$ - 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).

При переходе электромагнитной волны в более плотную среду, её частота ν не изменяется, а длина волны λ (и скорость волны υ) уменьшаются.

Чем больше абсолютный показатель преломления вещества n, тем меньше длина волны λ и фазовая скорость υ.

Дифференциальное уравнение волнового процесса (волновое уравнение)

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

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

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:

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

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), $[\omega]=\frac{рад}{с}$;

$k=\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{\omega}{v}$ - волновое число (которое показывает, сколько длин волн λ укладывается при распространении волны на пути длиной 2π метров), $[k]=\frac{1}{м}$;

x - координата рассматриваемой точки волны, *м*;

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

Из уравнения (2) следует, что:

1. смещение величины ξ произвольной точки волнового поля зависит от координаты точки x и момента времени t,
2. при отсутствии затухания в веществе все точки волны колеблются с одинаковыми амплитудами A и частотой ω, но различными фазами.

Если в уравнении (2) зафиксировать момент времени, то получим зависимость смещения какой-либо точки волнового поля в зависимости от её координаты в данный момент времени.

Если в уравнении (2) зафиксировать координату какой-либо точки волнового поля, то получим зависимость смещения рассматриваемой точки с течением времени.

Связь между разностью фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек волны и расстоянием Δx между ними

$$\Delta\varphi = k\Delta x = \frac{2\pi}{\lambda}\left(x_2 - x_1\right),$$

где $\Delta\varphi$ - разность фаз между двумя точками волны, *рад*;

$\Delta x = x_2 - x_1$ - расстояние между двумя точками волны, *м*;

x_1 - координата точки 1, *м*; x_2 - координата точки 2, *м*;

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

x - координата рассматриваемой точки волны, *м*.

Уравнение плоской бегущей волны при наличии поглощения энергии в веществе

Если в веществе, в котором распространяется волна, происходит поглощение энергии волны, то будет происходить затухание колебаний при распространении волны. В этом случае уравнение плоской гармонической бегущей волны будет иметь вид:

$$\xi\left(x,t\right) = A_0 e^{-\gamma x} cos\left(\omega t - kx + \varphi\right), \qquad (3)$$

где $e = 2{,}72$ - основание натурального логарифма (Неперово число),

γ (гамма) - коэффициент затухания, $\left[\gamma\right] = \frac{1}{м}$;

A_0 - амплитуда колебаний в точке с координатой $x = 0$.

Физ. смысл коэффициента γ: он обратно пропорционален расстоянию, при прохождении которого амплитуда колебаний уменьшается в $e = 2{,}72$ раз.

Уравнение сферической гармонической бегущей волны

Точечным источником волн называется источник, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Все реальные источники волн являются протяжёнными объектами. Однако на расстояниях от источника волны во много раз превосходящих его размеры, его можно рассматривать как точечный.

В однородной изотропной среде точечный источник создаёт сферические волны.

В сферической волне амплитуда колебаний точек среды постепенно убывает с расстоянием до источника, даже если среда не поглощает энергию волны. Это связано с тем, что энергия источника волн при её распространении распределяется по всё возрастающей площади поверхности сферы.

В этом случае уравнение сферической гармонической бегущей волны будет иметь вид:

$$\xi\left(r,t\right) = \frac{A_0}{r} cos\left(\omega t - kr + \varphi\right) \qquad (4)$$

A_0 - амплитуда волны на расстоянии 1 м от источника волны;

r - расстояние от источника волн до рассматриваемой точки, *м*.

Если в среде при распространении волны существует поглощение энергии, то уравнение имеет вид:

$$\xi(r,t)=\frac{A_0}{r}e^{-\gamma x}cos(\omega t-kr+\varphi). \qquad (5)$$

Уравнения (4) и (5) справедливы только для точечных источников (то есть на расстояниях много больших размеров самого источники волн).

Уравнения (3), (4) и (5) так же являются решениями волнового уравнения (1).

Явление дисперсии волн

При распространении волн в веществе возможны следующие случаи:

1. фазовая скорость волны υ не зависит от её длины волны λ или частоты ν (то есть $\upsilon = const$);
2. фазовая скорость волны υ зависит от её длины волны λ или частоты ν (то есть $\upsilon \neq const$).

Дисперсией волн называется явление зависимости фазовой скорости волны υ от её частоты ν (или ω) при распространении волны в веществе.

Среды, в которых наблюдается дисперсия волн, называются ***диспергирующими***.

Строго монохроматическая волна вида $\xi(x,t)=Acos(\omega t-kx+\varphi)$ представляет собой бесконечную во времени и в пространстве последовательность «горбов» и «впадин», перемещающихся вдоль оси OX с фазовой скоростью $\upsilon=\lambda\nu=\frac{\omega}{k}$,

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

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

Строго монохроматических волн в природе не бывает.
Любая реальная волна всегда ограничена в пространстве и во времени и поэтому не является строго монохроматической.

Реальную волну, близкую к монохроматической, можно представить в виде суммы некоторого числа монохроматических волн близких по частоте и с какими-либо определёнными амплитудами.

Эту суперпозицию волн, мало отличающихся друг от друга по частоте, называют ***волновым пакетом*** (или ***группой волн***).

На рис. 1 для фиксированного момента времени t представлен график функции, описывающей волновой пакет, который образован при сложении двух близких по частоте монохроматических волн с одинаковой амплитудой.

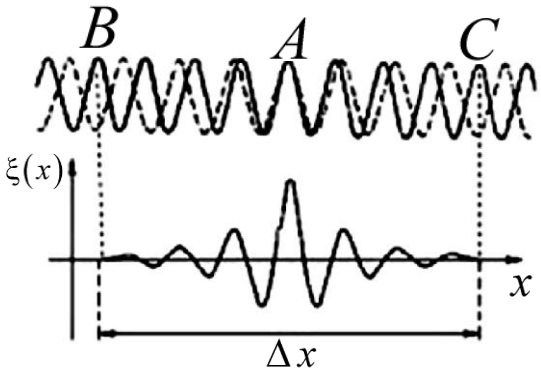


Рис. 1. Образование волнового пакета из двух близких по частоте волн

Для волнового пакета имеет место соотношение $\Delta k \Delta x = 2\pi$, откуда следует, что чем меньше $\Delta k = \dfrac{\Delta\omega}{v}$ (то есть чем меньше разброс частот, образующих волновой пакет), тем больше ширина волнового пакета Δx и наоборот.

В недиспергирующей среде все волны, образующие волновой пакет, распространяются с одинаковой фазовой скоростью v. В этом случае скорость движения волнового пакета будет совпадать с фазовой скоростью v и форма волнового пакета при распространении в пространстве со временем не изменяется (см. рис 2).

Рис. 2 Распространение волнового пакета в недиспергирующей среде.

Фазовую скорость v любой волны волнового пакета можно определить по формуле $v = \lambda\nu$.

В диспергирующей среде волны, образующие волновой пакет, распространяются с разной фазовой скоростью v, в результате чего форма волнового пакета изменяется и волновой пакет со временем расплывается.

Если дисперсия мала, расплывание волнового пакета происходит не слишком быстро. В этом случае пакету можно приписать скорость u, под которой понимается скорость перемещения максимальной амплитуды волнового пакета, которую называют *групповой скоростью* $\vec{u}$ (см. рис.3).

Рис. 3 Распространение волнового пакета в диспергирующей среде

За скорость распространения этой негармонической волны (волнового пакета) принимают скорость перемещения максимума амплитуды волны, рассматривая тем самым максимум в качестве центра волнового пакета.

Групповую скорость u совместного движения всех волн (то есть волнового пакета) можно определить по формуле

$$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}, \qquad (6)$$

где v - фазовая скорость волны с длиной λ,

λ - длина волны,

$\dfrac{dv}{d\lambda}$ - производная функции зависимости фазовой скорости v волны от её длины λ.

Из формулы (6) вытекает, что u может быть как меньше, так в больше v в зависимости от знака $\dfrac{dv}{d\lambda}$.

В недиспергирующей среде $\dfrac{dv}{d\lambda} = 0$ и групповая скорость u совпадает с фазовой скоростью v.

Понятие групповой скорости очень важно, так как именно она фигурирует при измерении дальности в радиолокации, в системах управления космическими объектами и так далее.

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.

$$I = \frac{dW}{dSdt} = v\langle w\rangle,$$

где v - фазовая скорость распространения волны, $\frac{м}{с}$;

$\langle w\rangle$ (вэ) - среднее значение объёмной плотности энергии (то есть среднее значение энергии, которая переносится за 1 $с$ через поверхность 1 $м^2$, расположенную перпендикулярную направлению распространения волны), $[w] = \frac{Дж}{м^3}$.

- в случае механических волн $\langle w\rangle = \frac{\rho\omega^2 A^2}{2}$,

где ρ (ро) - плотность вещества, в котором распространяется волна, $\frac{кг}{м^3}$;

ω (омега) - циклическая частота волны, $\frac{рад}{с}$;

A - амплитуда волны, $м$.

- в случае электромагнитных волн $\langle w\rangle = \frac{1}{v}\frac{E_{max}H_{max}}{2}$.

где E_{max} - амплитудное значение напряжённости электрического поля волны, $\frac{В}{м}$;

H_{max} - амплитудное значение напряжённости магнитного поля волны, $\frac{А}{м}$.

Таким образом, интенсивность волны I можно определить:

- В случае механических волн $I = \frac{dW}{dSdt} = v\langle w\rangle = v\frac{\rho\omega^2 A^2}{2}$,

- В случае электромагнитных волн $I = \frac{dW}{dSdt} = v\langle w\rangle = \frac{E_{max}H_{max}}{2}$.

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.

Инфразвуки (до 16 Гц)	**Слышимые звуки** (16 — 20 000 Гц)	**Ультразвуки** (более 20 000 Гц)	**Гиперзвуки** (10^9 — 10^{13} Гц)
Шум атмосферы, леса, моря. Гром. Взрывы, орудийные выстрелы. Сейсмические волны	Колебания твердого тела (мембраны, деки, диффузоры громкоговорителей). Колебания ограниченных объемов среды (воздух в музыкальных духовых инструментах, органах, свистках). Голосовой аппарат человека и животных	Пьезоэлектрические материалы. Некоторые животные (дельфины, летучие мыши и др.)	Тепловое движение атомов. Пьезоэлектрические материалы

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

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

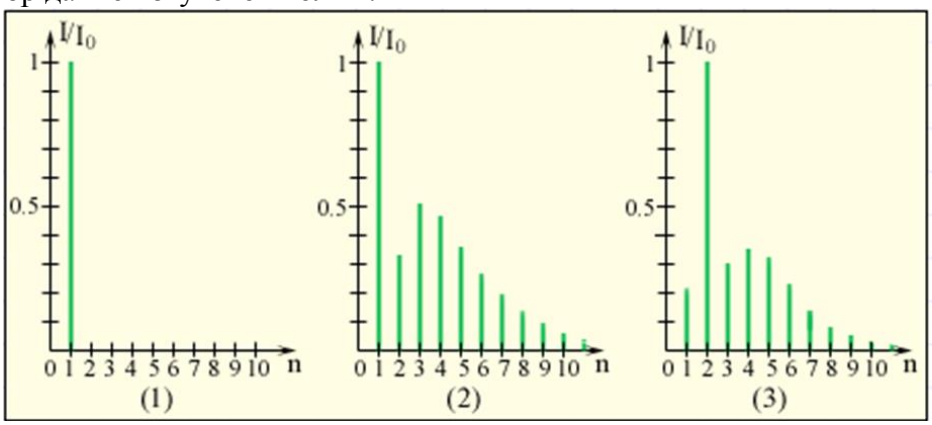


Рис. 5.
Относительные интенсивности гармоник в спектре звуковых волн, излучаемых камертоном (1), пианино (2) и низким женским голосом (альт) (3), звучащими на ноте «ля» малой октавы ($\nu = 220\,Гц$).
По оси ординат отложены относительные интенсивности гармоник аккустического спектра волны.

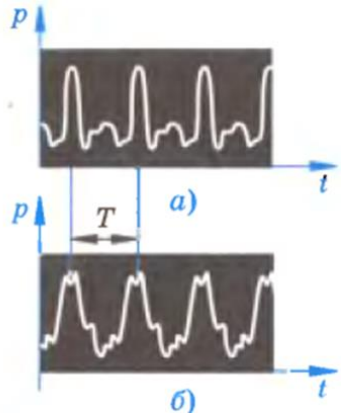


Рис.6.
Нота «ля» малой октавы ($\nu = 220\,Гц$) в исполнении трубы (*а*) и скрипки (*б*)

Скорость звука

Скорость звука в веществе можно определить по формуле: $\upsilon = \lambda\nu$,
где υ – скорость распространения волны, ν - частота волны.

Скорость механической волны υ – это скорость распространения возмущений (например, сжатий или разряжений) в среде.

Скорость распространения звуковых волн определяется скоростью передачи взаимодействия между частицами упругой среды.

Скорость звука зависит, как и скорость любых волн, от среды.

При переходе механической волны в более плотную среду, её частота не изменяется ($\nu = const$), а длина волны λ (и скорость волны υ) увеличивается.

Чем больше плотность вещества ρ, тем больше длина волны λ и её скорость υ.

Например, скорость звука в воздухе при нормальных условиях 340 м/с, в воде – 1500 м/с, а в стали – 6000 м/с.

Электромагнитные волны. Свет

Электромагнитной волной *называется процесс распространения в пространстве переменного электромагнитного поля.*

Модель плоской монохроматической электромагнитной волны в вакууме

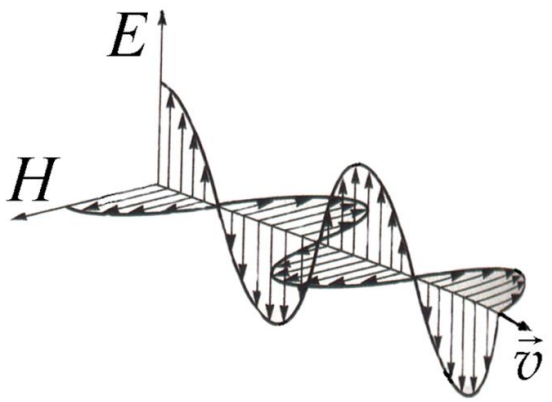


Рис. 7

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

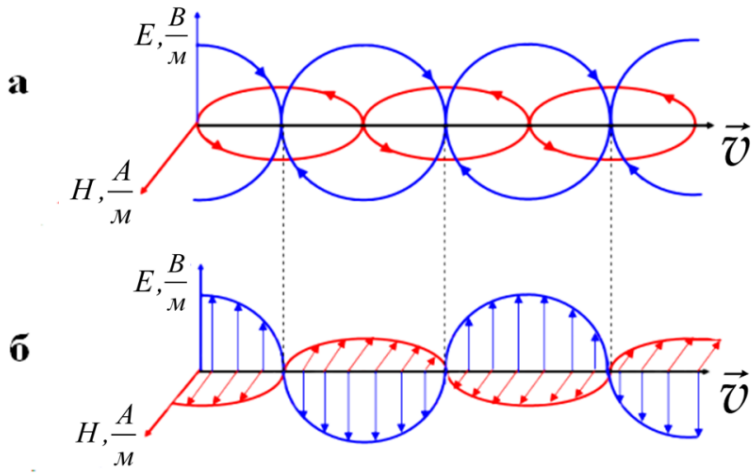


Рис. 8

а. распределение электрического и магнитного полей в плоской электромагнитной волне в вакууме согласно уравнениям Максвелла,

б. 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.

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 $\left[\vec{E}\vec{H}\right]$.

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*** и исследуют только его.

Свет

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

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 ($\approx 10^{-8} c$) излучается в виде кванта света, который представляет собой ограниченный в пространстве, так называемый, **цуг** электромагнитной волны длиной $\approx 3 м$.

2. Каждый фотон несёт с собой энергию $E_ф = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$ (где $h = 6.62 \cdot 10^{-34} Дж \cdot c$ - постоянная Планка), ν - частота световой волны, λ - длина световой волны). Фотон существует только в движении и

всегда имеет одну и ту же скорость $c = 3 \cdot 10^8 \dfrac{м}{c}$. Движущийся фотон обладает массой $m_ф = \dfrac{h\nu}{c^2}$ и импульсом $p_ф = \dfrac{h}{\lambda} = m_ф c$.

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.

Скорость света

Скорость света (и любых электромагнитных волн) в вакууме равна $c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с} = \lambda_0 \nu$,

где λ_0 - длина электромагнитной волны в вакууме, *м* (метр),
ν - частота электромагнитной волны, *Гц* (Герц)

Скорость света (и любых электромагнитных волн) в веществе всегда меньше, чем в вакууме.

Скорость света в веществе можно определить по формуле: $\upsilon = \frac{c}{n} = \lambda \nu$,

где $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ - скорость света в вакууме,
n - абсолютный показатель преломления вещества.
λ - длина электромагнитной волны в веществе, *м* (метр)
ν - частота электромагнитной волны, *Гц* (Герц)

При переходе света (или любой электромагнитной волны) в более оптически плотную среду (то есть с большим абсолютным показателем преломления вещества n), её частота ν не изменяется, а длина волны λ (и скорость волны υ) уменьшаются.

Чем больше абсолютный показатель преломления вещества n, тем меньше длина волны λ и скорость υ.

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