

С/Р Емкостное и индуктивное сопротивления переменного тока. Закон Ома для электрической цепи переменного тока. Работа и мощность переменного тока.

Д/З А.Е. Марон. 11 класс. СР-14. Вариант №3.

С/Р Генератор незатухающих электромагнитных колебаний. Генераторы переменного тока. Трансформаторы. Токи высокой частоты. Получение, передача, распределение и использование электроэнергии.

Электромагнитные волны

Электромагнитное поле как особый вид
материи (Жданов §27.5)

Электромагнитные волны (Жданов §27.7)

Открытый колебательный контур (Жданов §27.6)

Вибратор Герца (Жданов §27.8)

Д/З А.Е. Марон. 11 класс. ТС-18

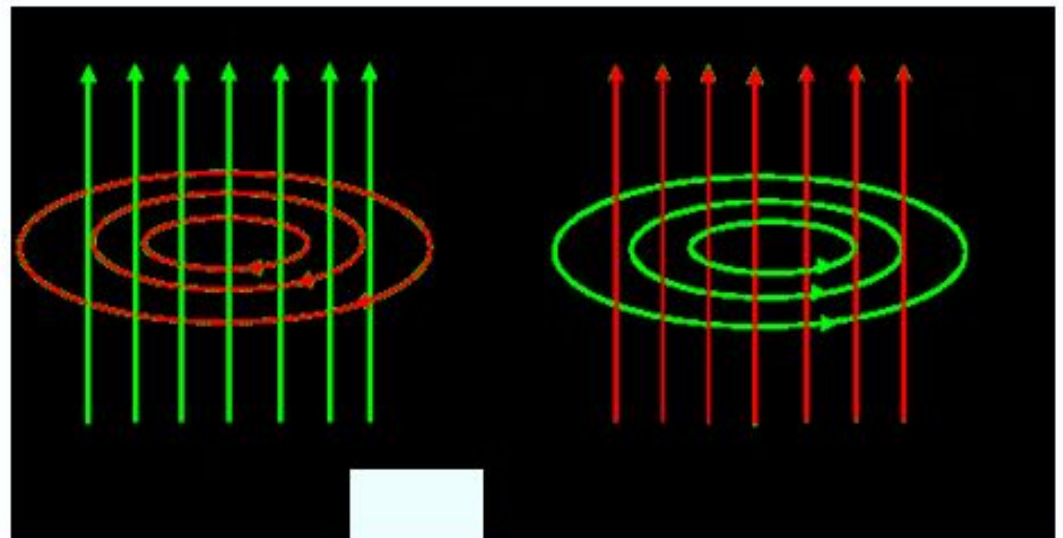
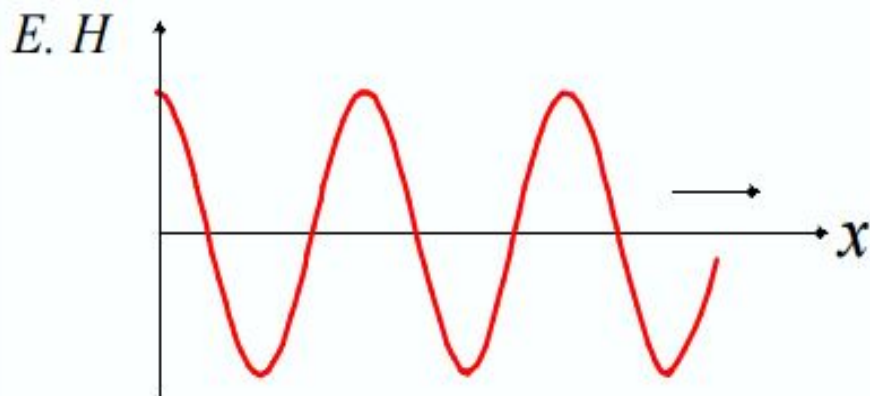


Электромагнитные волны

Существование электромагнитных волн было теоретически предсказано Дж. Максвеллом в результате анализа предложенной им системы уравнений, описывающих электромагнитное поле.

Электромагнитные волны

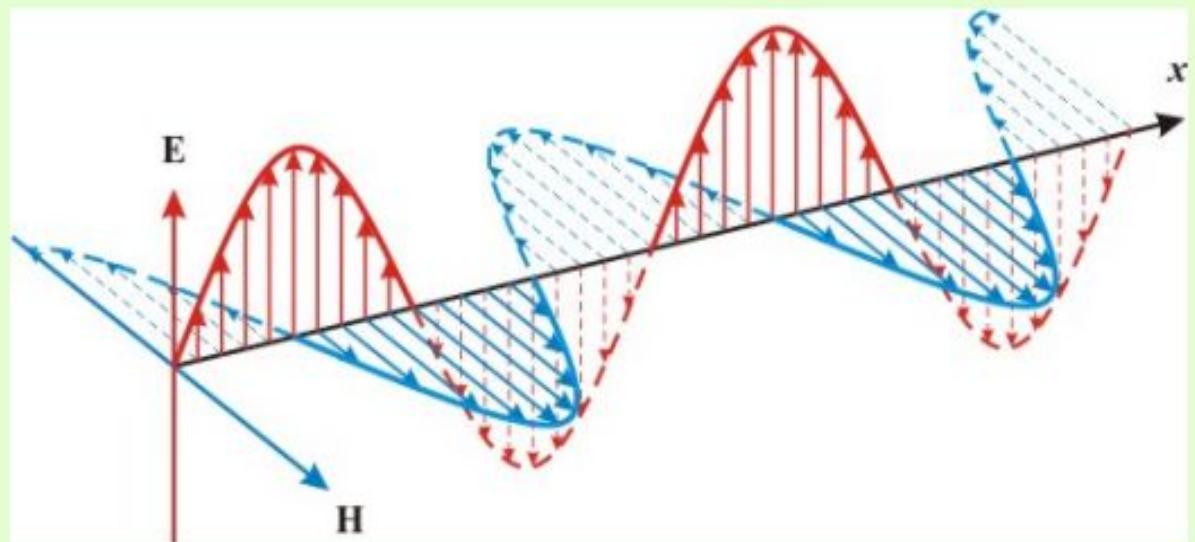
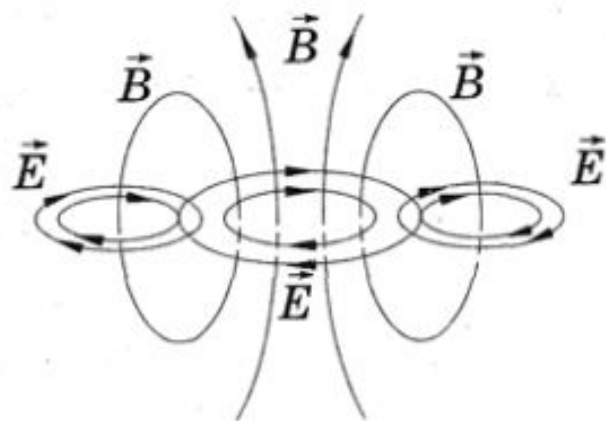
Согласно теории Максвелла, переменные электрические и магнитные поля не могут существовать по отдельности.



Изменяющееся магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, а изменение электрического поля порождает переменное магнитное поле.

Понятие электромагнитной волны

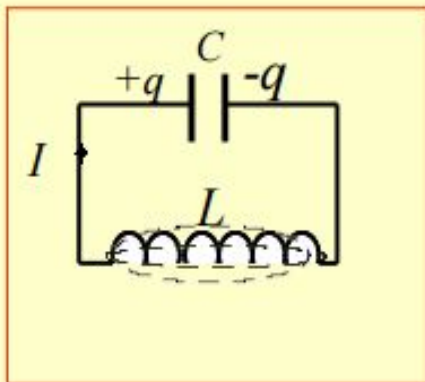
Электромагнитные волны представляют собой распространение в пространстве с течением времени переменных электрических (вихревых) и магнитных полей со скоростью, зависящей от свойств среды.



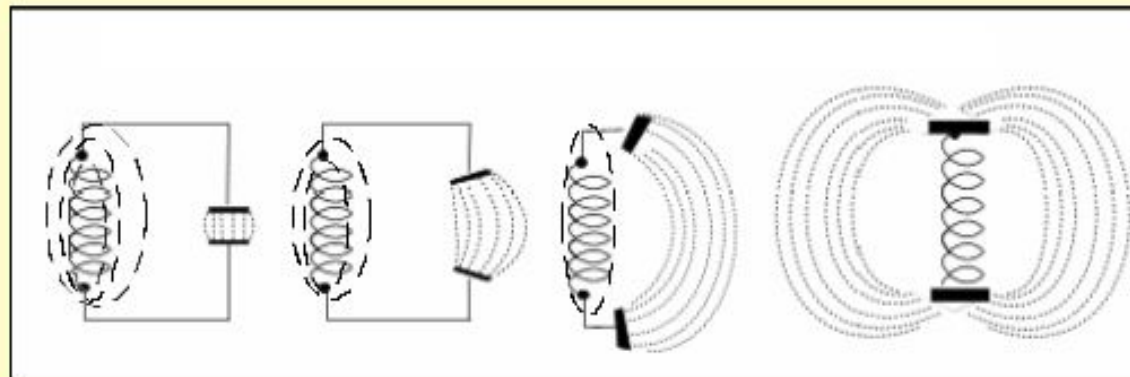
Получение электромагнитных волн

Условием возникновения электромагнитных волн является *ускоренное движение электрических зарядов*

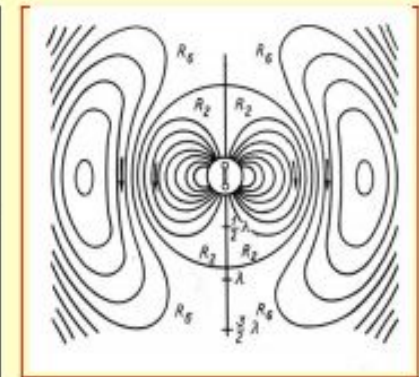
Изменение магнитного поля происходит при изменении тока в проводнике, а изменение тока происходит при изменении скорости заряда, т.е при движении зарядов с ускорением.



*Закрытый
колебательный
контур*



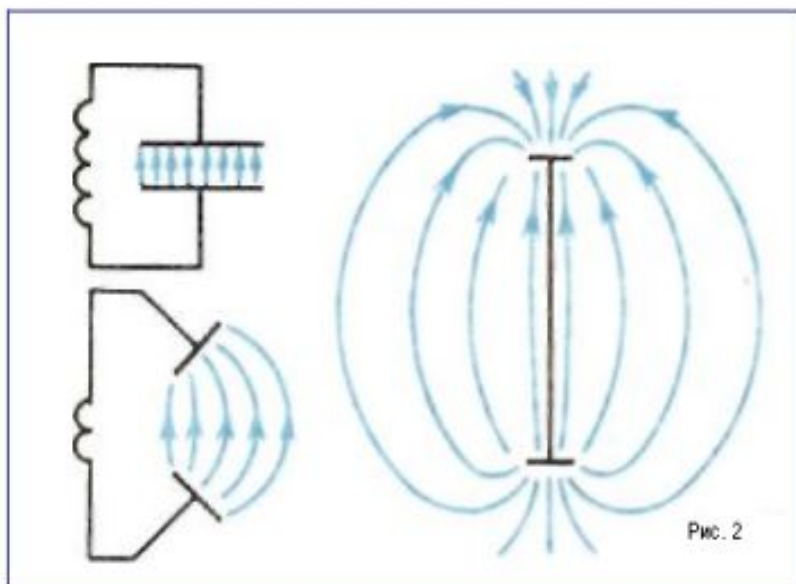
*Переход от закрытого контура к
открытому*



Излучение

Получение электромагнитных волн

Впервые электромагнитные волны были **обнаружены** в **1887г.** немецким физиком Генрихом Герцем, который в качестве источника электромагнитных колебаний использовал **открытый** колебательный контур (высокочастотный искровой разрядник – вибратор Герца)



Герц дополнил теорию Максвелла теорией электромагнитного излучения, доказал тождество с волнами света.

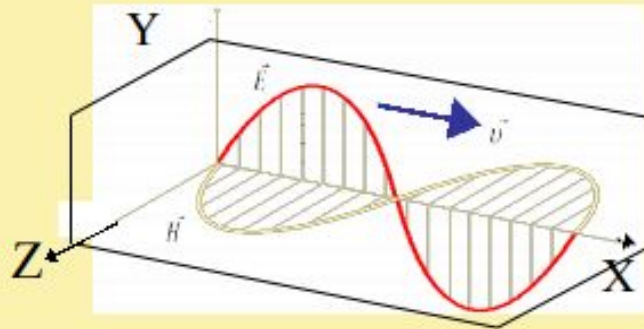
Герц экспериментально подтвердил поперечность электромагнитных волн.

Свойства электромагнитных волн

- *В отличие от всех других видов волн, распространение которых всегда происходит в какой-то среде, электромагнитные волны могут распространяться в пустоте.*
- Максвелл показал, что в отличие от статических электрических и магнитных полей **электромагнитное поле может существовать и в отсутствии источников – зарядов и токов.**

Свойства электромагнитных волн

- Векторы напряженности электрического и магнитного полей взаимно перпендикулярны друг другу и перпендикулярны направлению распространения электромагнитной волны.



- В вакууме скорость распространения электромагнитных волн равна скорости света $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

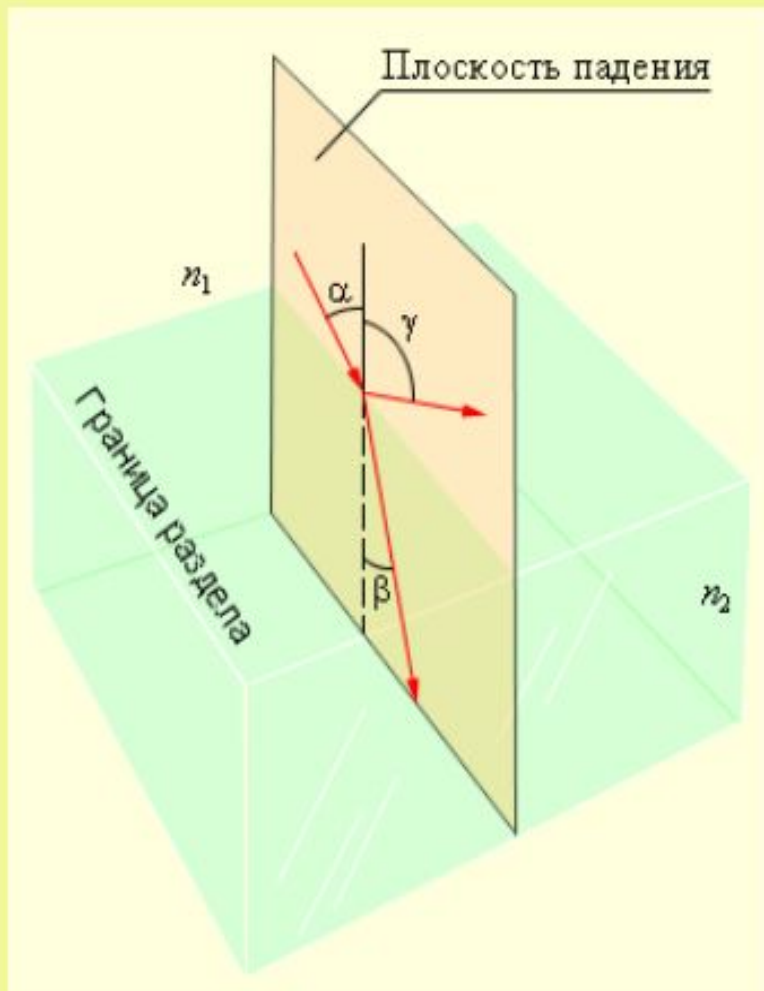
- Векторы \vec{E} и \vec{H} всегда колеблются в одинаковых фазах

Свойства электромагнитных волн

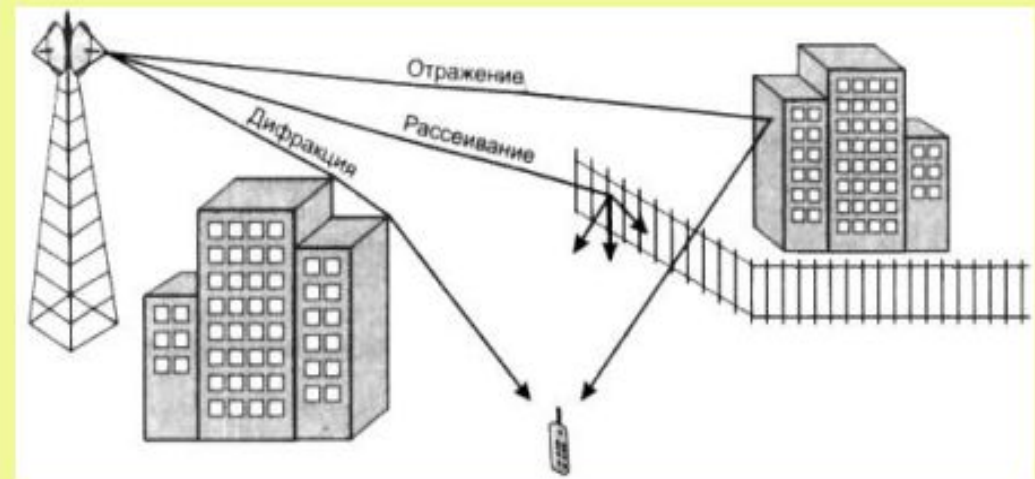
- При распространении электромагнитных волн в веществе происходит поглощение энергии волны
- Поскольку электромагнитные волны переносят энергию, отражаясь или поглощаясь телами, то из теории Максвелла следует, что электромагнитные волны должны оказывать на тела давление.
- Электромагнитные волны проявляют свойства интерференции, дифракции и поляризации
- Воздействие электромагнитных волн на живые организмы

Свойства электромагнитных волн

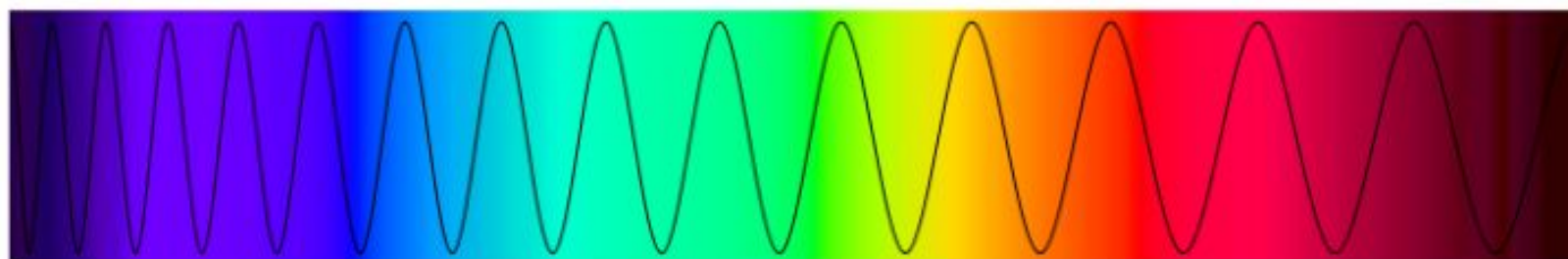
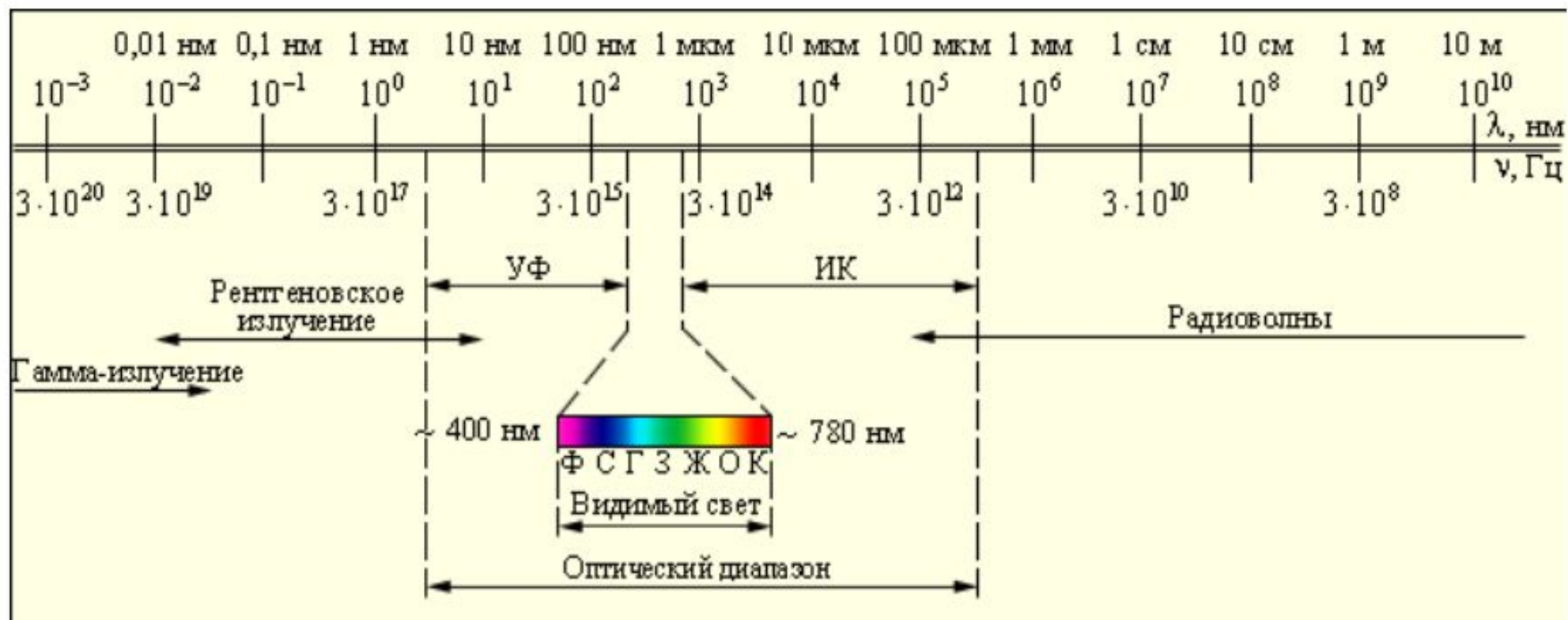
- При распространении электромагнитных волн выполняются законы геометрической оптики



Свет – электромагнитные волны



Шкала электромагнитных волн



Электромагнитные волны разделены по длинам волн на шесть основных диапазонов

Радиоволны

Излучаются с помощью колебательных контуров и макроскопических вибраторов.

В зависимости от частоты по-разному поглощаются, отражаются и распространяются.

Инфракрасное излучение (тепловое)

Излучаются атомами или молекулами вещества.

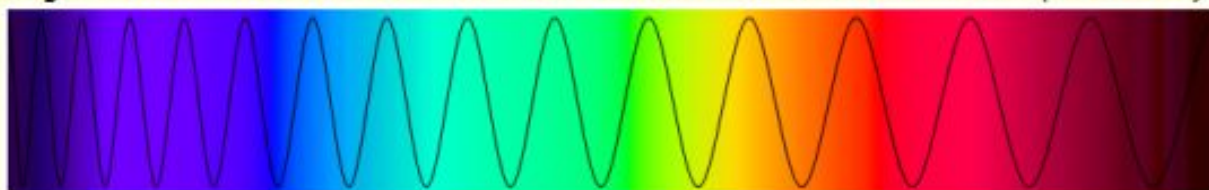
ИК излучение дают все нагретые тела при любой t° .

ИК излучение поглощаясь веществом, нагревает его.

Проходит через некоторые непрозрачные вещества а также сквозь дождь, снег, туман, дымку.

Видимый участок оптического диапазон α (свет)

$\lambda = 400\text{нм}$



$\lambda = 760\text{нм}$

Естественный свет появляется в результате испускания электромагнитных волн возбужденными атомами.

Ультрафиолетовое излучение

Источники УФ излучения: газоразрядные лампы, кварцевые трубки. Излучаются всеми твердыми телами, у которых $t^\circ > 1000^\circ\text{C}$.

Рентгеновское излучение

Излучается при бомбардировке анода потоком частиц.

Большая проникающая способность (диагностика мед.)

γ - излучение

Источник: ядерные процессы

Электромагнитная волна



Связь между длиной волны λ , периодом T колебаний и частотой ν

$$\lambda = \nu T$$

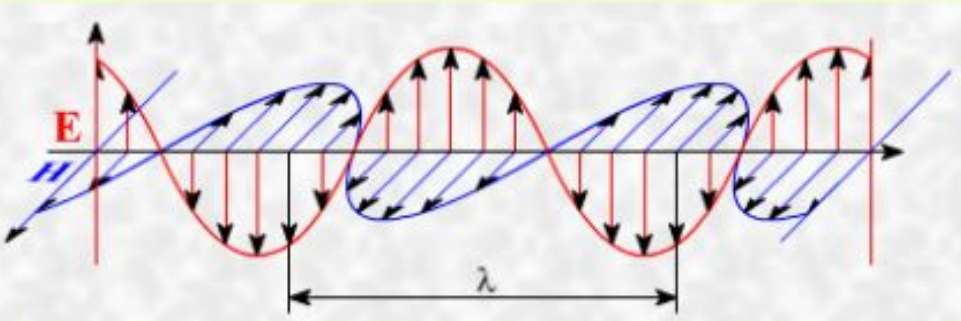
$$\nu = \lambda \nu$$

$$\nu = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

ν - фазовая скорость распространения волн в среде

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

n - абсолютный показатель преломления



ϵ - диэлектрическая проницаемость среды;

μ - магнитная проницаемость среды.

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$$

$$H_z = H_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$k = \frac{\omega}{\nu}$$

Волновое число

$$E_y = E_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{\nu} \right)$$

$$H_z = H_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{\nu} \right)$$

Электромагнитная волна

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ - электрическая постоянная

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ - магнитная постоянная

$$\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H$$

Энергия и импульс электромагнитной волны

Объемная w плотность энергии электромагнитной волны складывается из объемных плотностей электрического w_{ϵ} и магнитного w_{μ} полей:

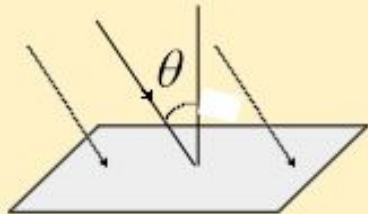
$$w = w_{\epsilon} + w_{\mu} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$$

В каждый момент времени объемные плотности электрического и магнитного полей одинаковы

$$w_{\epsilon} = w_{\mu}$$

Давление и импульс электромагнитной волны

Электромагнитные волны оказывают на тела давление



$$P = \frac{I}{c}(1 + R)\cos^2 \theta$$

I - интенсивность волны

R - коэффициент отражения

Давление электромагнитных волн объясняется тем, что под действием электрического поля волны заряженные частицы начинают беспорядочно двигаться и подвергаются со стороны магнитного поля волны действию сил Лоренца.

П.Н.Лебедев экспериментально доказал существование светового давления на твердые тела и газы

$$p = \frac{W}{c}$$

Электромагнитная волна, несущая энергию W , обладает импульсом

Энергия обычно выражается в электронвольтах

$$1 \text{ эВ} = \text{Дж}/1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Распространение электромагнитных волн

В вакууме скорость электромагнитных волн равна

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

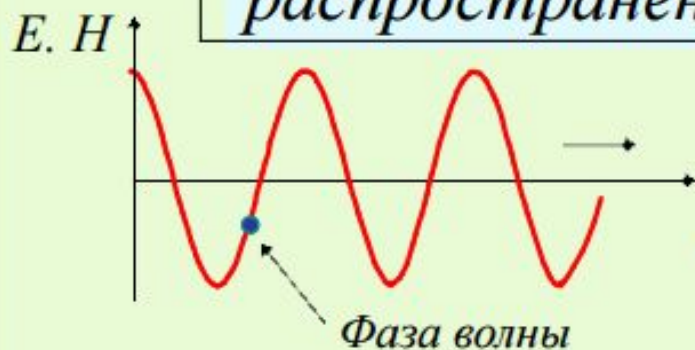
При распространении электромагнитных волн в среде

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

ϵ - Диэлектрическая проницаемость среды

μ - Магнитная проницаемость среды

Различают **фазовую** и **групповую** скорости распространения электромагнитных волн



Фазовая скорость – скорость распространения фазы волны

$$v_{\phi} = \frac{\omega}{k}$$

Фазовая и групповая скорости распространения волн

Понятие скорости распространения волны является простым лишь в случае отсутствия дисперсии, при этом волны различной формы и интенсивности распространяются с одинаковой скоростью, которую называют **фазовой скоростью**, например распространение электромагнитных волн в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) или акустических в воздухе ($v = 337$ м/с).

Если существует зависимость скорости гармонической волны от частоты (длины волны), то наблюдается явление, называемое **дисперсией волны**.



Фазовая и групповая скорости распространения волн

Дисперсия волны – зависимость фазовой скорости волны в среде от его частоты

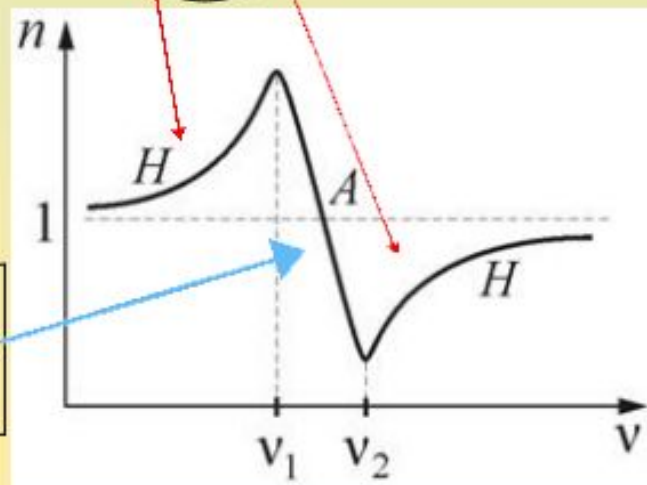
Групповая скорость зависит от фазовых скоростей различных волн, входящих в волновой пакет.

Зависимость между фазовой и групповой скоростями и длиной волны была получена Рэлеем и имеет вид

$$v_{gp} = v_{\phi} - \lambda \frac{dv_{\phi}}{d\lambda}$$

Нормальная дисперсия

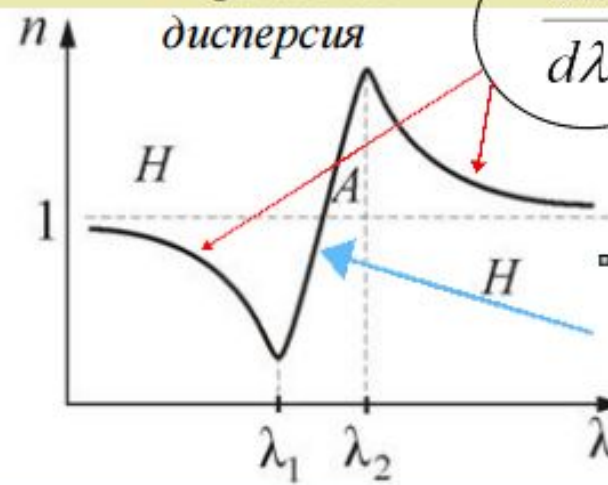
$$\frac{dn}{dv} > 0$$



Аномальная дисперсия

Нормальная дисперсия

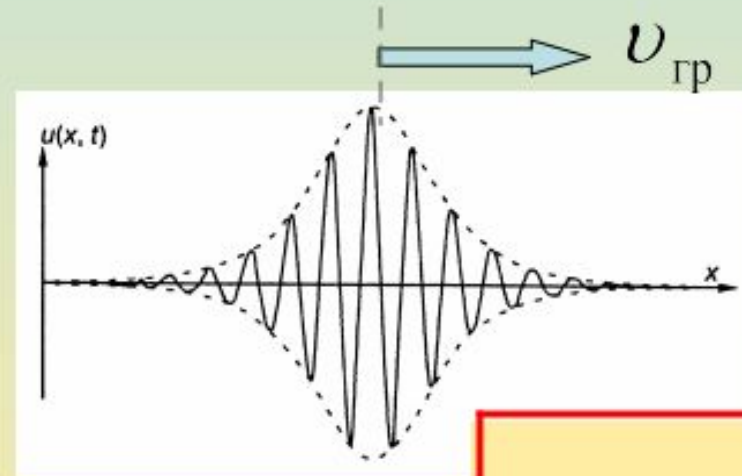
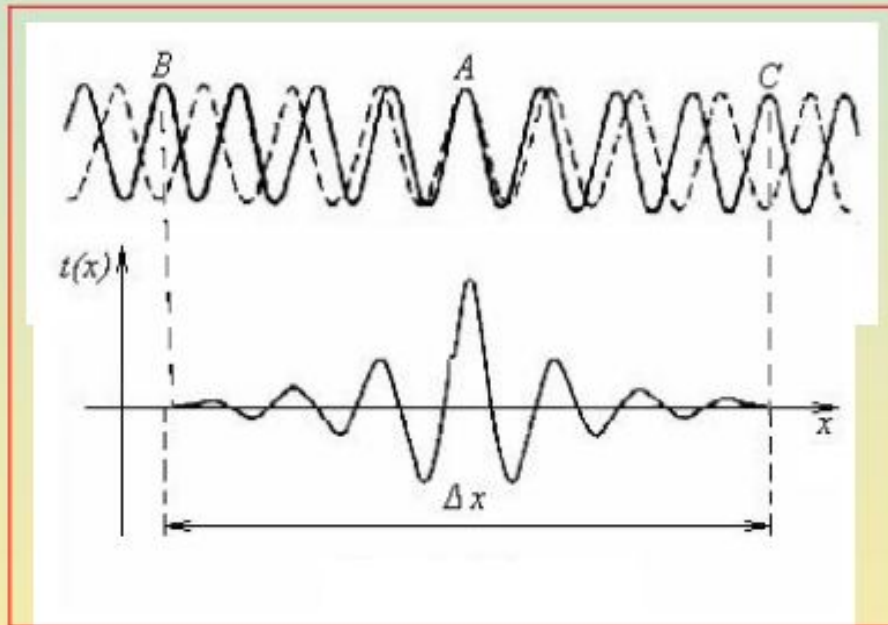
$$\frac{dn}{d\lambda} > 0$$



аномальная дисперсия

Групповая скорость

Если среда обладает дисперсией, то форму волнового пакета можно представить как наложение гармонических волн с различными частотами (Фурье преобразование).



$$v_{gp} = v_{\phi} - \lambda \frac{dv_{\phi}}{d\lambda}$$

Групповая скорость – скорость распространения центра волнового пакета

Поглощение электромагнитных волн

Поглощением (абсорбцией) света называется явление уменьшение энергии световой волны при ее распространении в веществе вследствие преобразования энергии волны в другие виды энергии.

*В результате поглощения интенсивность света при прохождении через вещество уменьшается. Поглощение света в веществе описывается **законом Бугера***

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

где I_0 и I – интенсивности плоской монохроматической волны соответственно на входе и выходе слоя поглощающего вещества толщиной x ;

α – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны света, химической природы и состояния вещества и не зависящий от интенсивности света.

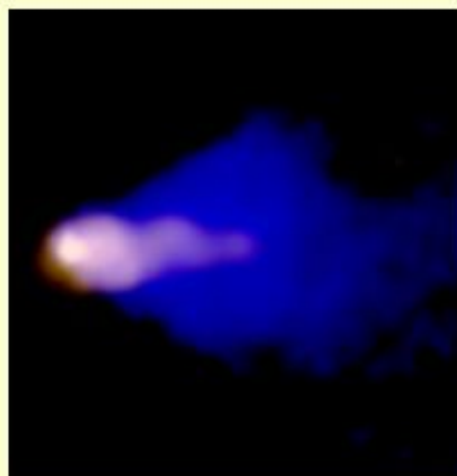
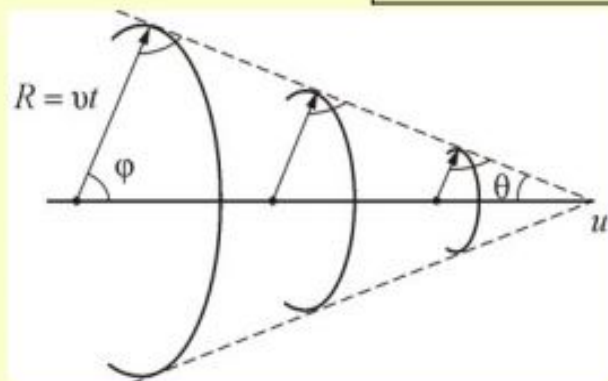
Излучение Черенкова - Вавилова

Излучение (эффект) Черенкова – возникновение электромагнитного излучения при движении релятивистских частиц в среде с постоянной скоростью v , превышающей фазовую скорость света в этой среде, т.е. при условии

$$v > \frac{c}{n}$$

Суть этого явления заключается в следующем. Электрон, движущийся со скоростью, близкой к скорости света, обгоняет свое собственное электромагнитное поле и начинает этим полем тормозиться. В результате торможения и возникает излучение. Следовательно, скорость движения электронов в среде превышает скорость распространения электромагнитных волн в среде, т.е. скорость света $u > v_{\text{ф}}$

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$$



П.А. Черенков, И.Е. Тамм и И.М. Франк в 1958 г. Удостоены нобелевской премии

Электромагнитные волны

Изобретение радио А. С. Поповым. Понятие о радиосвязи. Применение электромагнитных волн.

Л.С. Жданов. § 27.9, 27.10.

C/P Виды радиосвязи. Использование электромагнитных волн. Детекторный приёмник. Модуляция. Усилитель. Основы космической связи