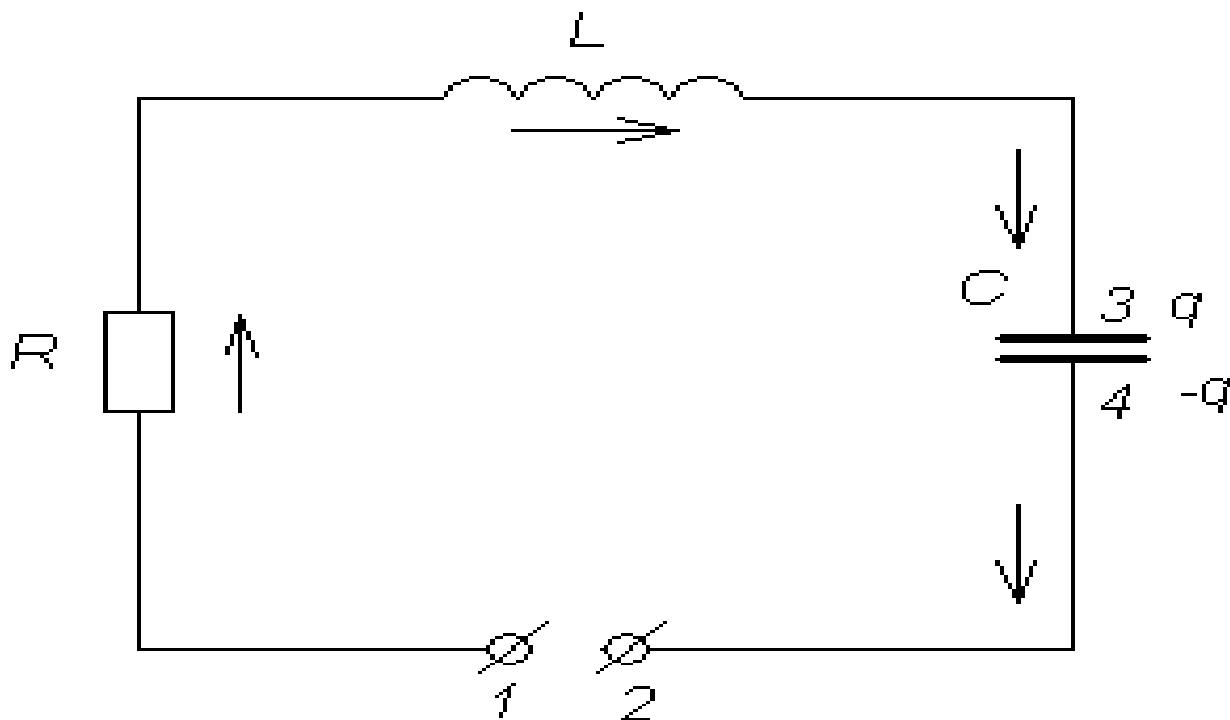


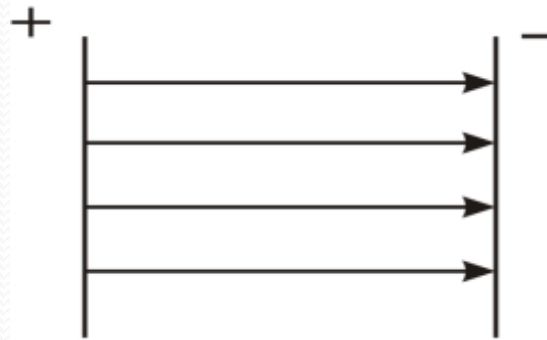
Лекция 7. Электромагнитные колебания и волны. Свойства электромагнитных волн  
Часть I.

## 5.1. Колебательный контур. Характеристики элементов, входящих в колебательный контур

**Опр. Колебательный контур** – это система, состоящая из последовательно соединенных конденсатора емкости  $C$ , катушки индуктивности  $L$  и проводника с сопротивлением  $R$



**Опр. Конденсатор** – два проводника, называемые обкладками, расположенные близко друг к другу. Конструкция такова, что внешние окружающие конденсатор тела не оказывают влияние на емкость конденсатора. Это будет выполняться, если **электростатическое поле будет сосредоточено внутри конденсатора между обкладками.**



**Опр. Емкость** - ф.в., характеризующая способность конденсатора накапливать электрический заряд:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}$$

## Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

## Энергия заряженного конденсатора

$$W_c = \frac{CU^2}{2}$$

**Опр. Катушка индуктивности** — винтовая, спиральная или винто-спиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении.

**Опр. Индуктивность (L)** – физическая величина, характеризующая магнитные свойства электрической цепи и равная отношению потока  $\Phi$  магнитной индукции, пересекающего поверхность, ограниченную проводящим контуром, к силе тока в этом контуре, создающем  $\Phi$ .  
Единица измерения генри [Гн].



**Индуктивность:**

$$L = \mu\mu_0 \frac{SN^2}{L}$$

**Опр. Свободные электромагнитные колебания** – это периодически повторяющиеся изменения электромагнитных величин ( $q$  – электрический заряд и  $U$  – разность потенциалов на обкладках конденсатора,  $I$  – сила тока в катушке индуктивности), происходящие без потребления энергии от внешних источников.

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{LC} \cdot q = 0$$

- дифференциальное уравнение свободных гармонических электромагнитных колебаний

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$$

- дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний пружинного маятника

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{LC} \cdot q = 0$$

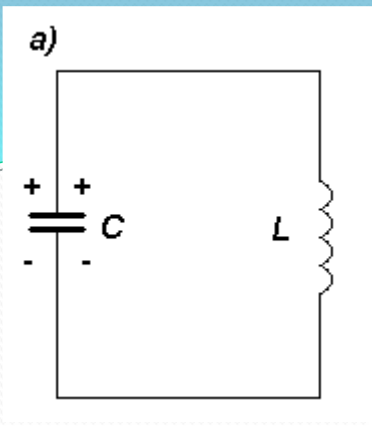
$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{- собственная частота электромагнитных колебаний}$$

Решение этого уравнения:  $q = q_{max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$

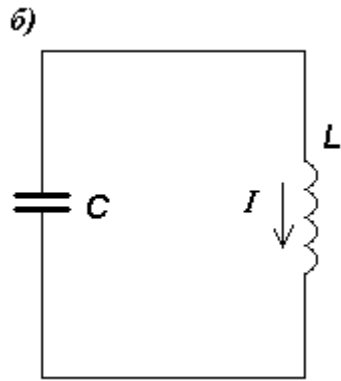
Период электромагнитных колебаний:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$$

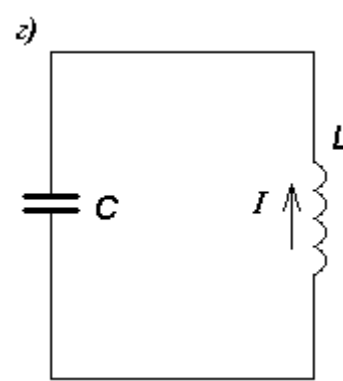
# Энергия колебательного контура:



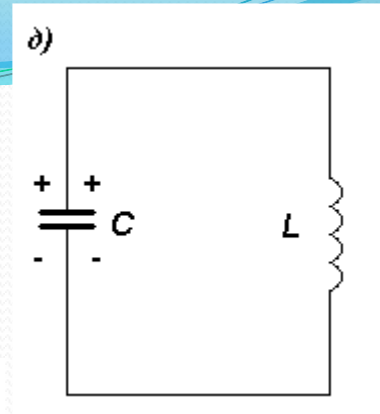
$$a) W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$



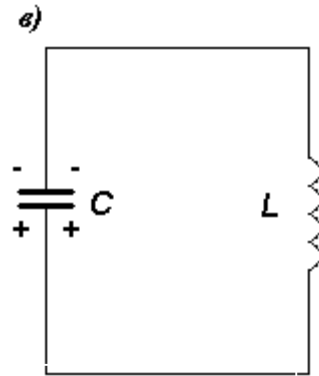
$$б) W_m = \frac{LI_m^2}{2}$$



$$в) W_m = \frac{LI_m^2}{2}$$



$$г) W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$



$$д) W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$



## **Выводы:**

1. В колебательном контуре, образованном конденсатором  $C$  и катушкой  $L$ , электрическое поле сосредоточено в зазоре между обкладками, а магнитное – внутри катушки. В окружающем пространстве конденсатор и катушку поля практически равны нулю.
2. В колебательном контуре создаются переменные электрическое и магнитное поля.
3. Колебательный контур обладает энергией электрического и магнитного полей

## 5.2 Генерация ЭМВ

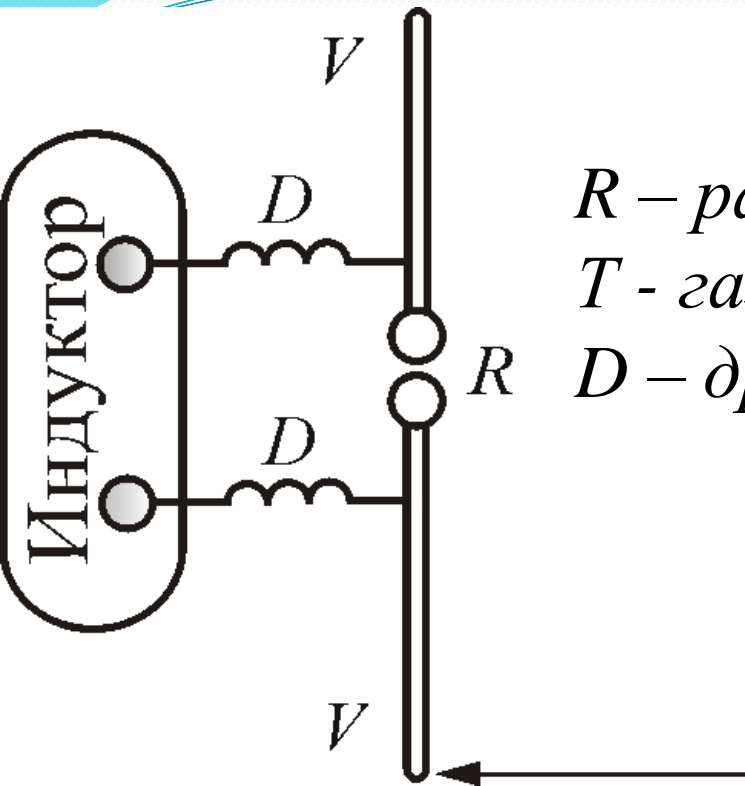


Максвелл Джеймс Клерк (1831 – 1879) – английский физик, член Эдинбургского (1855) и Лондонского (1861) королевских обществ, первый профессор экспериментальной физики в Кембридже. Под его руководством создана известная Кавендишская лаборатория, которую он возглавлял до конца своей жизни.



Герц Генрих Рудольф (1857 – 1894) – немецкий физик. Окончил Берлинский университет (1880 г.) и был ассистентом у Г. Гельмгольца. В 1885 – 89 гг. – профессор Высшей технической школы в Карлсруэ.

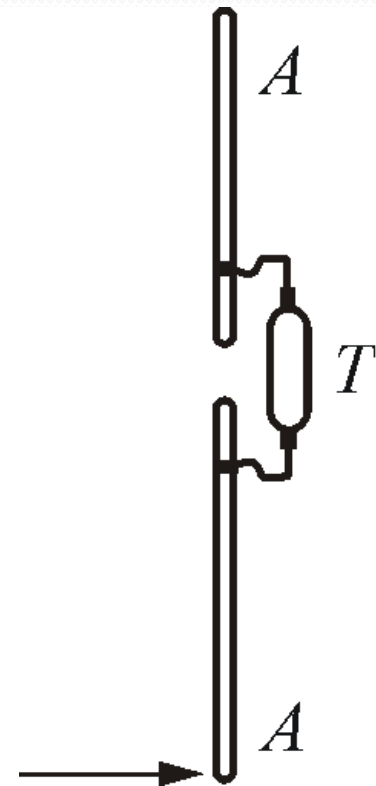
## Вибратор Г.Р.Герца



*R – разрядник;  
T – газоразрядная трубка;  
D – дроссели.*

$r \leq \lambda$  – ближняя зона

**Вибратор**



**Резонатор**

Движущийся с ускорением электрический заряд испускает электромагнитные волны.

Фазовая скорость ЭМВ определяется выражением:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$$

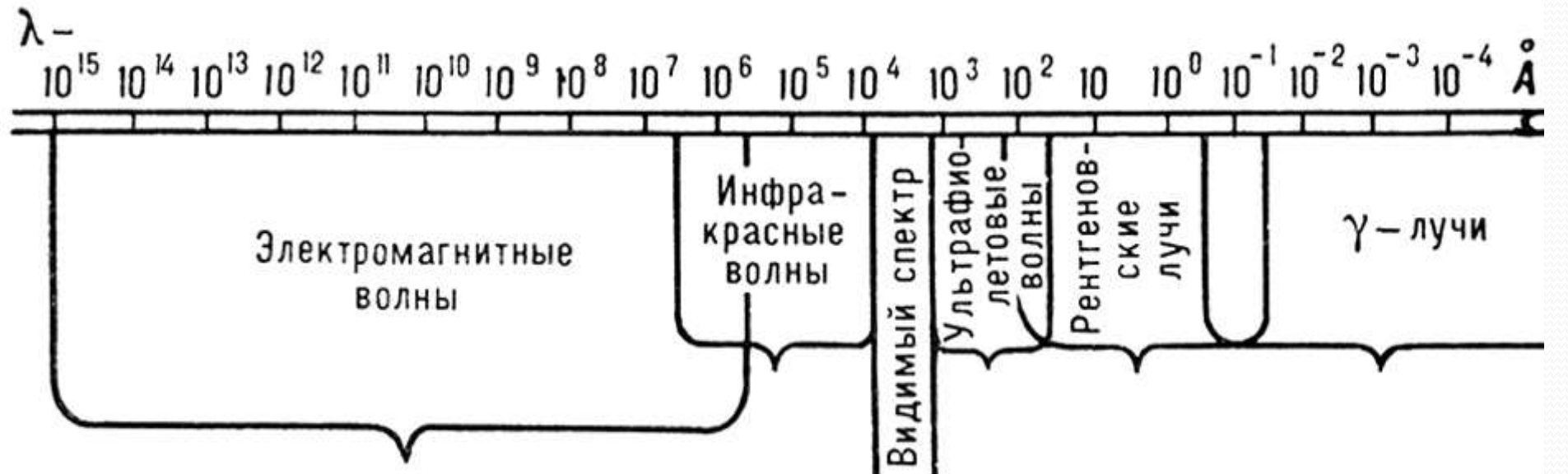
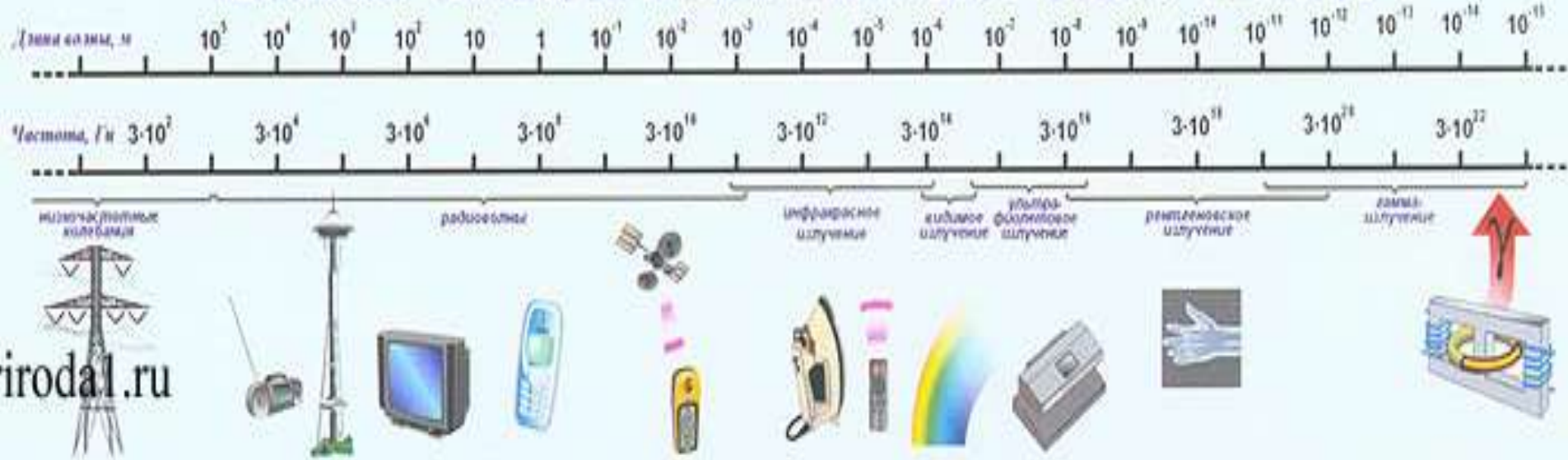
где  $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$  – скорость света в вакууме

$$\varepsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$\mu_0 = 1,256637061 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$$

# ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ



Длина	Название	Частота
более 100 км	Низкочастотные электрические колебания	0 – 3 кГц
100 км – 1 мм	Радиоволны	3 кГц – 3 ТГц
100 – 10 км	<i>сверх низкие частоты</i>	3 – 3-кГц
10 – 1 км	<i>километровые (низкие частоты)</i>	30 – 300 кГц
1 км – 100 м	<i>гектометровые (средние частоты)</i>	300 кГц – 3 МГц
100 – 10 м	<i>декаметровые (высокие частоты)</i>	3 – 30 МГц
10 – 1 м	<i>метровые (очень высокие частоты)</i>	30 – 300 МГц
1 м – 10 см	<i>дециметровые (ультравысокие)</i>	300 МГц – 3 ГГц
10 – 1 см	<i>сантиметровые (сверхвысокие)</i>	3 – 30 ГГц
1 см – 1 мм	<i>миллиметровые (крайне высокие)</i>	30 – 300 ГГц
1 – 0.1 мм	<i>децимиллиметровые (гипервысокие)</i>	300 ГГц – 3 ТГц
2 мм – 760 нм	Инфракрасное излучение	150 ГГц – 400 ТГц
760 – 380 нм	Видимое излучение (оптический спектр)	400 - 800 ТГц
380 – 3 нм	Ультрафиолетовое излучение	800 ТГц – 100 ПГц
10 нм – 1 пм	Рентгеновское излучение	30 ПГц – 300 ЭГц
<10 пм	Гамма-излучение	>30 ЭГц

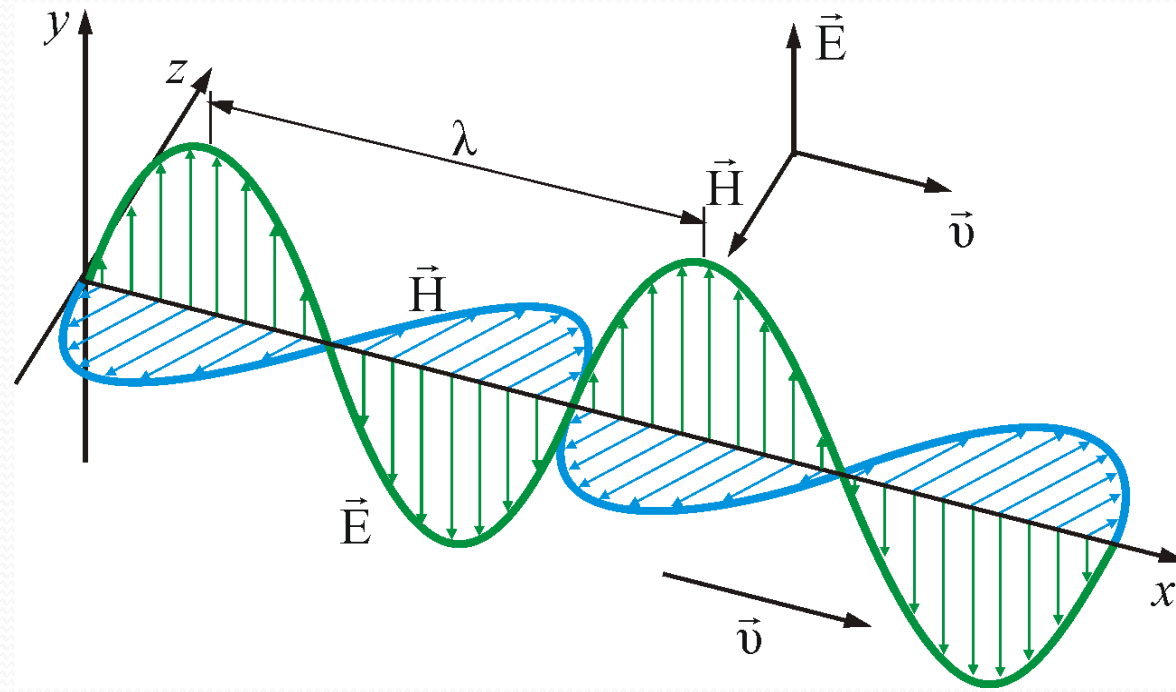
## 5.3. Свойства электромагнитных волн

### Свойство электромагнитных волн 1.

Электромагнитные волны представляют собой поперечные волны и, в этом, аналогичны другим типам волн. В ЭМВ происходят колебания полей, а не вещества, как в случае распространения волн на воде или в натянутом шнуре.

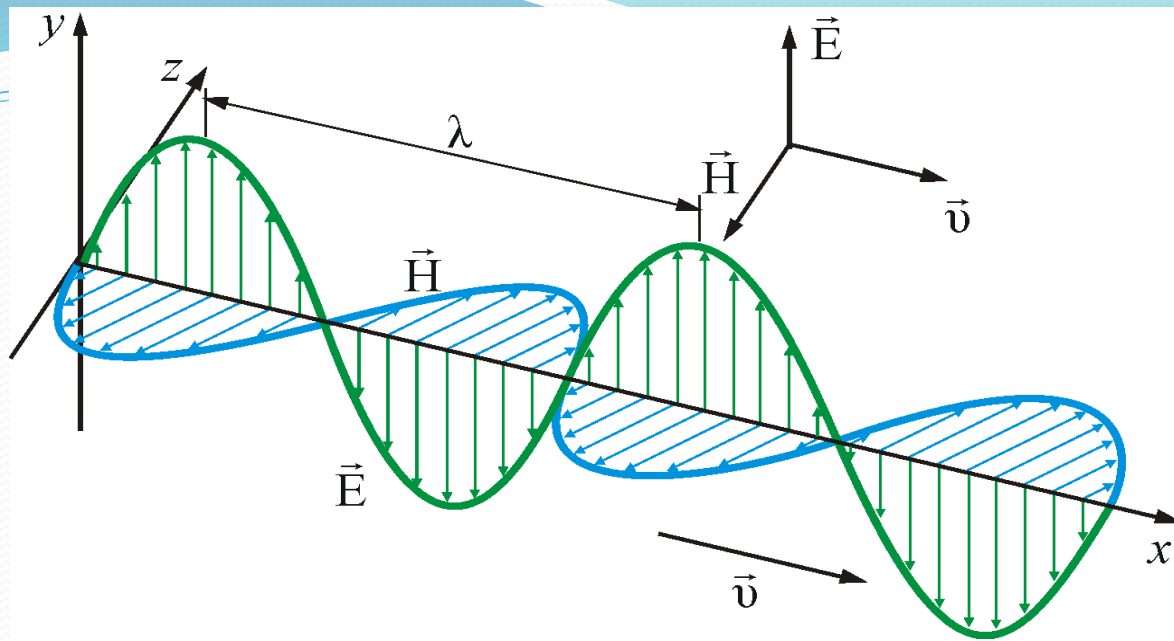


ЭМВ распространяются в пространстве, удаляясь от источника волн во все стороны.



В любой точке вектор напряженности электрического поля  $\vec{E}$   
вектор напряженности магнитного поля  $\vec{H}$   
взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению  
распространения скорости  $\vec{v}$





Поля изменяют свое направление в пространстве: в одних точках вектор  $\vec{H}$  направлен к плоскости страницы, в других – от нее; аналогично ведет себя и вектор  $\vec{E}$ . Электрическое и магнитное поля находятся в фазе, т.е. они достигают максимума и обращаются в нуль в одних и тех же точках.

## Свойство электромагнитных волн 2.

Электромагнитные волны отражаются и преломляются на границе раздела двух диэлектриков

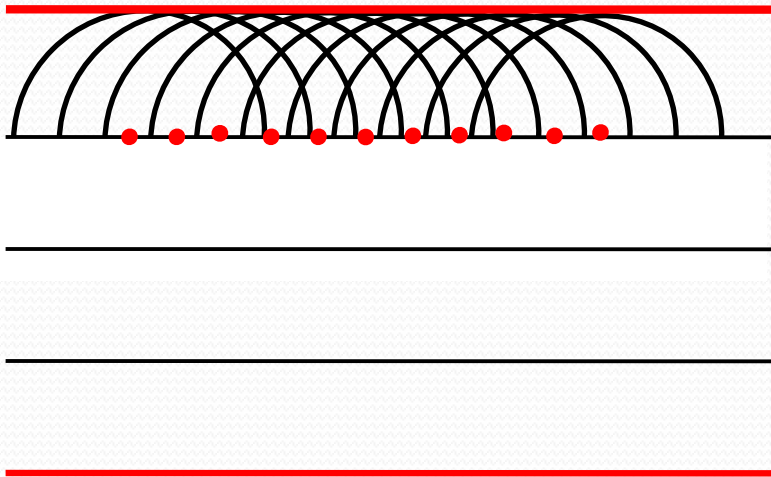
## Принцип Гюйгенса

*Каждая точка фронта волны является источником вторичных волн. Поверхность, огибающая вторичные волн, определяет положение фронта волны в данный момент времени*

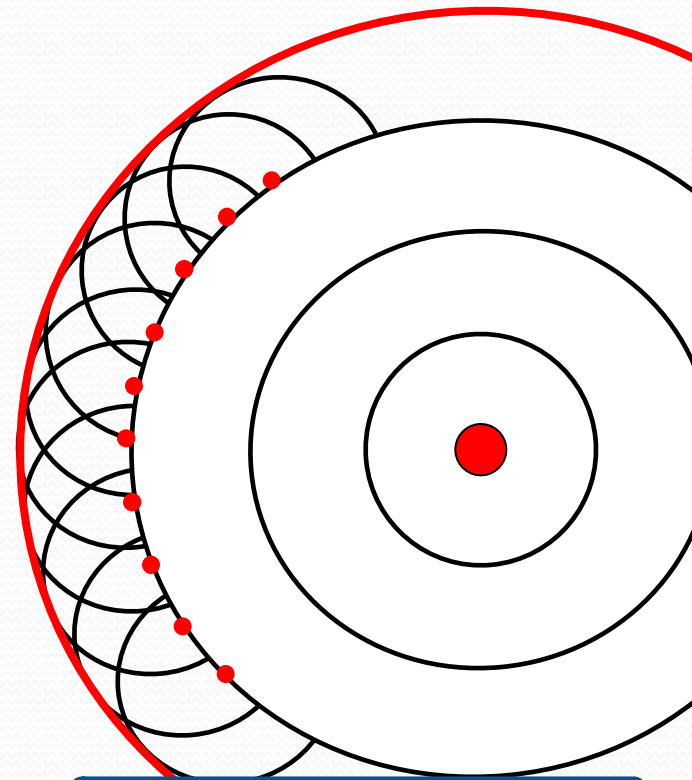


1678 г.

Фронт волны



Плоская волна



Сферическая волна

## Основные понятия

**Опр. Границей раздела двух сред** - это поверхность, разделяющую две однородные, изотропные среды (I и II).

**Опр. Световой луч** – нормаль восстановленная к волновым поверхностям электромагнитной волны в направлении ее распространения.

**Опр. Падающий луч** - луч света, идущий от источника света, к границе в среде I .

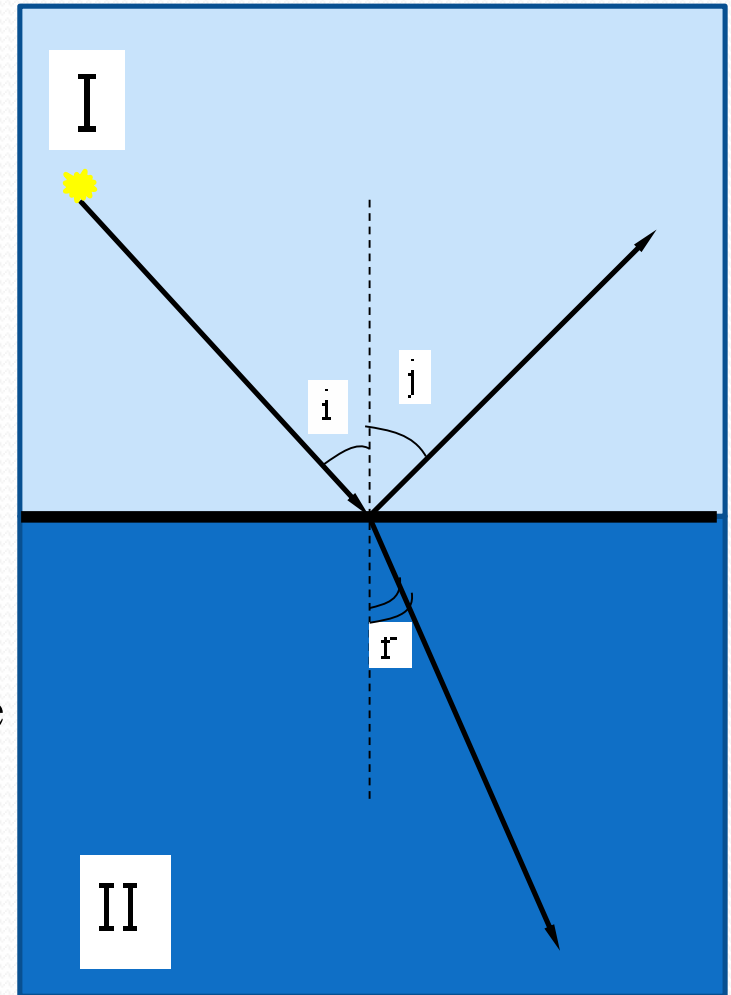
**Опр. Отраженный луч** - луч, остающийся в среде I после взаимодействия с границей в точке падения.

**Опр. Преломленный луч** – луч, проходящий во II среду после взаимодействия с границей в точке падения.

**Опр. Угол падения** – это угол между лучом падающим и перпендикуляром, восстановленным к границе двух сред в точке падения.

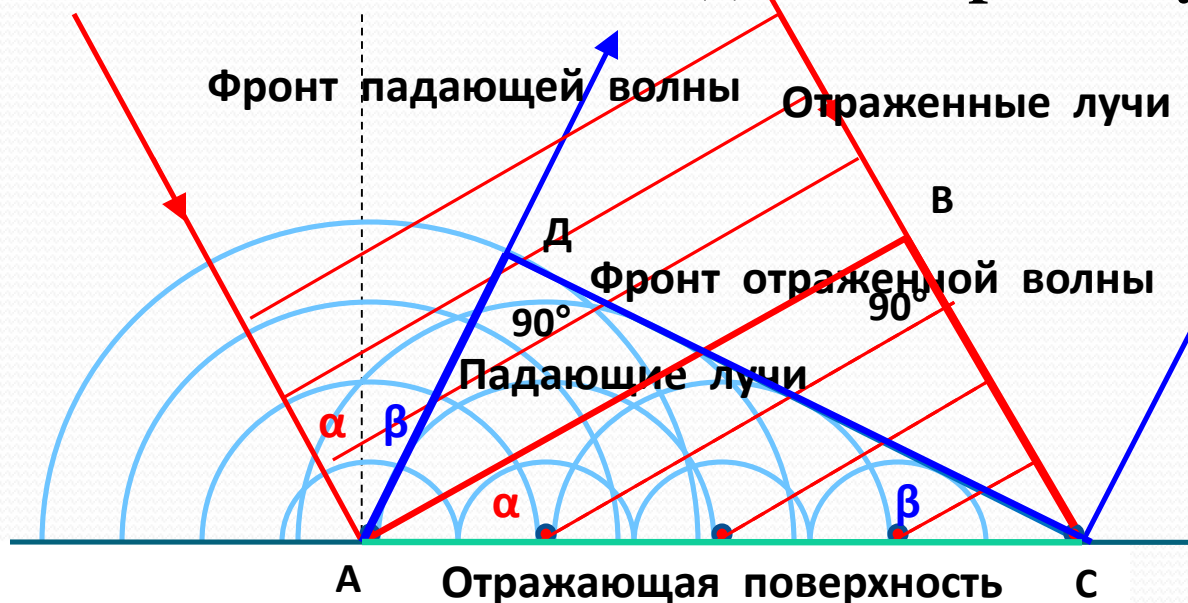
**Опр. Угол отражения** – это угол между лучом отраженным и перпендикуляром к границе двух сред в точке падения.

**Опр. Угол преломления** – угол между лучом преломленным и перпендикуляром к границе двух сред в точке падения.



# Закон отражения волн

Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения к отражающей поверхности, лежат в одной плоскости. Угол падения  $\alpha$  равен углу отражения  $\beta$ .



К моменту времени, когда точка В фронта волны попадает в точку С, вторичная волна из точки А распространяется на расстояние АД, при этом

$$BC = AD$$

Рассмотрим треугольники  $ABC$  и  $ADC$ .

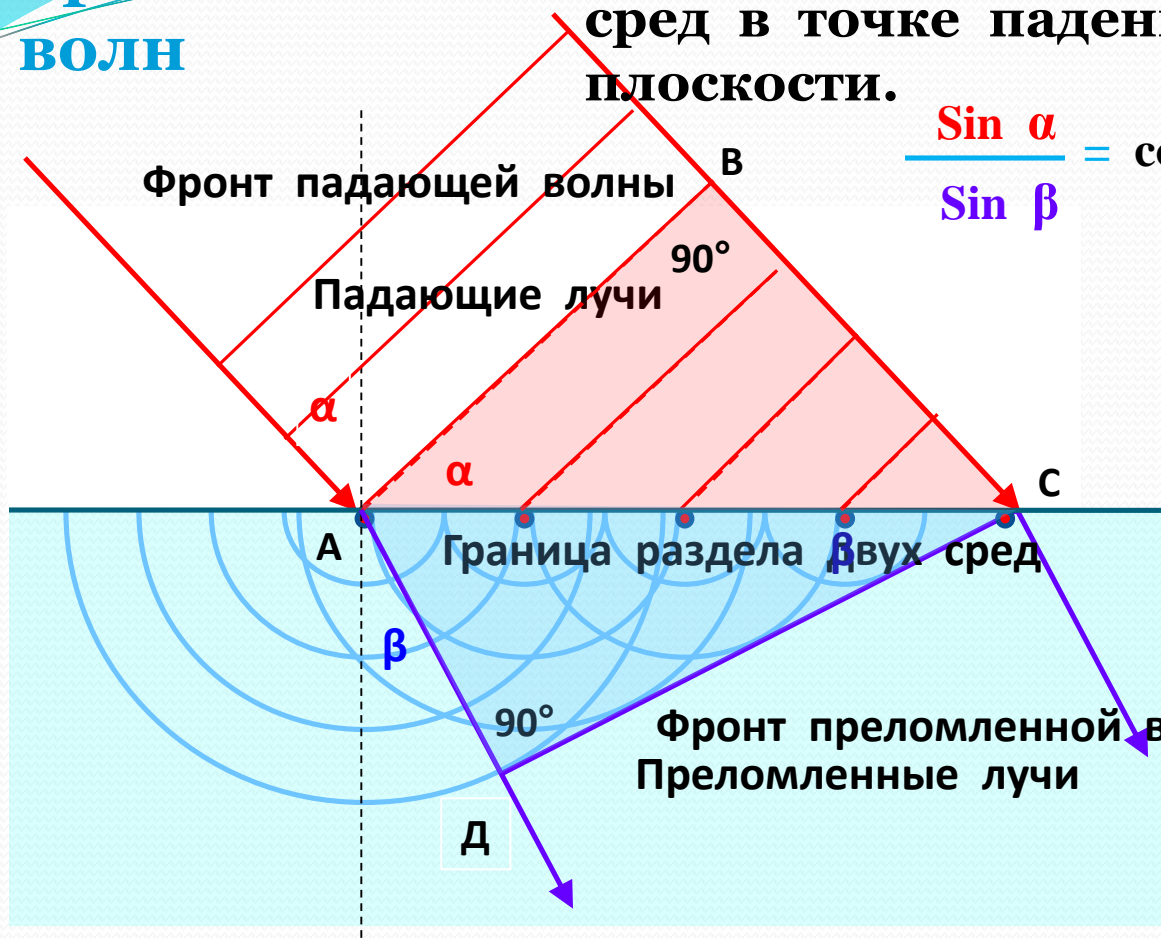
Эти треугольники прямоугольные и имеют углы, соответственно равные  $\alpha$  и  $\beta$

Треугольники равны по трем признакам.

Следовательно углы  $\alpha$  и  $\beta$  равны

# Закон преломления волн

Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела двух сред в точке падения лежат в одной плоскости.



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{const} , \text{ для данных двух сред.}$$

К моменту времени, когда точка В фронта волны попадает в точку С, вторичная волна из точки А распространяется на расстояние АД. При этом  $BC = V_1 \cdot t$   $AD = V_2 \cdot t$

Рассмотрим треугольники **ABC** и **ACD**.

Эти треугольники прямоугольные, с общей стороной и имеют соответственно углы  $\alpha$  и  $\beta$ .

$$\sin \alpha = \frac{BC}{AC}$$

$$\sin \beta = \frac{AD}{AC}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2} = \text{const}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} , \text{ где } n_1 \text{ и } n_2 \text{ абсолютные показатели преломления данных сред.}$$

**Опр. Абсолютный показатель преломления** – физическая величина, характеризующая изменение скорости электромагнитной волны в среде относительно вакуума:

$$n_1 = \frac{c}{V_1}; n_2 = \frac{c}{V_2}$$

**Опр. Относительный показатель преломления** - физическая величина, характеризующая изменение скорости электромагнитной волны в во второй среде по отношению скорости волны в первой среде:

$$n = \frac{V_1}{V_2}$$