



Лекция №6

Электромагнитные волны

План лекции

- 1. Теория Максвелла для электромагнитного поля*
- 2. Уравнения Максвелла*
- 3. Электромагнитные колебания*
- 4. Электромагнитные волны*
- 5. Шкала электромагнитных волн*

Теория Максвелла для электромагнитного поля

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

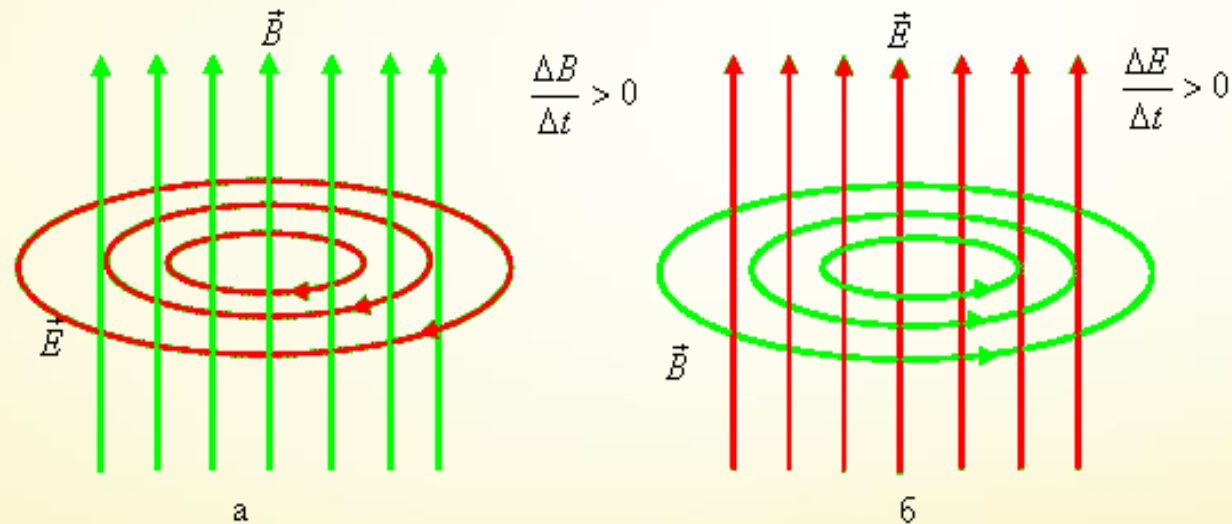


Рис. 1.1

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

Уравнения Максвелла

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Открытие тока смещения позволило Максвеллу создать единую теорию электрических и магнитных явлений – **макроскопическую теорию электромагнитного поля.**

Теория Максвелла не только объясняла с единой точки зрения все разрозненные явления электричества и магнетизма, но и предсказала ряд новых явлений, существование которых подтвердилось впоследствии.

В основе теории - четыре фундаментальных уравнения. В учении об электромагнетизме эти уравнения играют такую же роль, как законы Ньютона в механике или основные законы (начала) в термодинамике.

Решение уравнений Максвелла даёт возможность в любой момент времени найти параметры электрических и магнитных полей.

*Полная система уравнений Максвелла
в интегральной форме:*

$$\oint_L (\vec{E}, d\vec{l}) = - \int_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, d\vec{S} \right)$$

$$\oint_S (\vec{D}, d\vec{S}) = \int_V \rho dV$$

$$\oint_L (\vec{H}, d\vec{l}) = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, d\vec{S} \right)$$

$$\oint_S (\vec{B}, d\vec{S}) = 0$$

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Из уравнений Максвелла следует:

- источниками электрического поля являются электрические заряды, либо изменяющиеся во времени магнитные поля.

- источниками магнитного поля являются движущиеся заряды (электрические токи), либо переменные электрические токи.

Уравнения Максвелла не симметричны относительно магнитных и электрических полей. Это связано с тем, что в природе существуют электрические заряды, но нет зарядов магнитных.

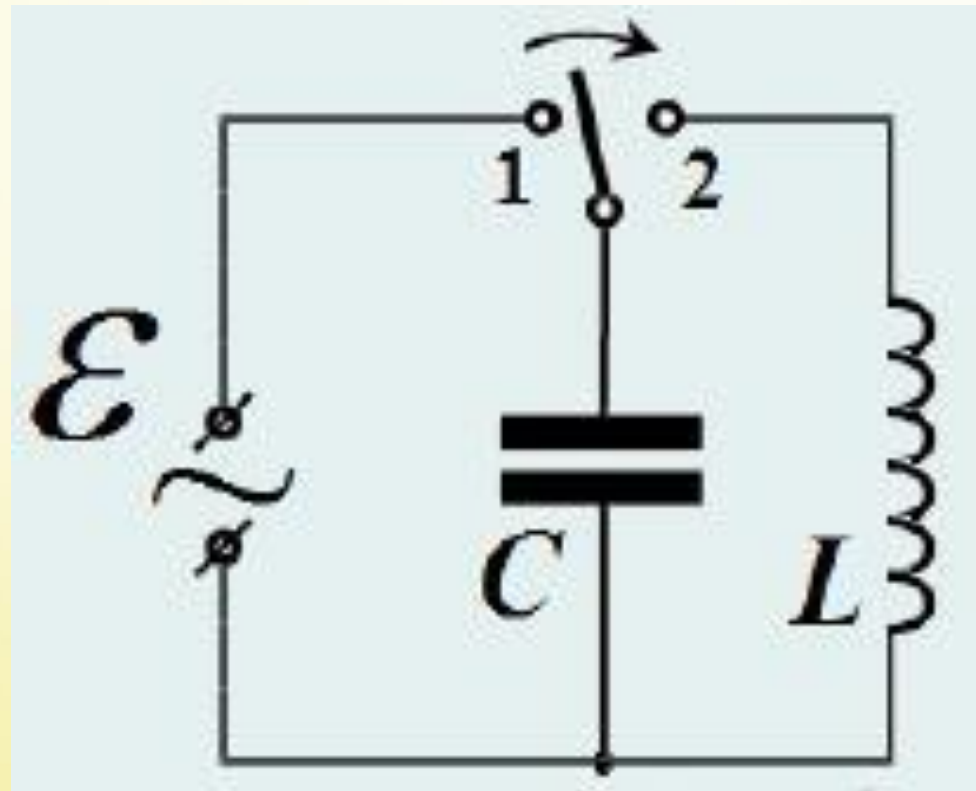
Для стационарных полей ($E = const$ и $B = const$) уравнения Максвелла примут вид:

$$\oint_L (\vec{E}, d\vec{l}) = 0; \quad \oint_S (\vec{B}, d\vec{S}) = 0; \quad \oint_L (\vec{H}, d\vec{l}) = I; \quad \oint_S (\vec{D}, d\vec{S}) = q.$$

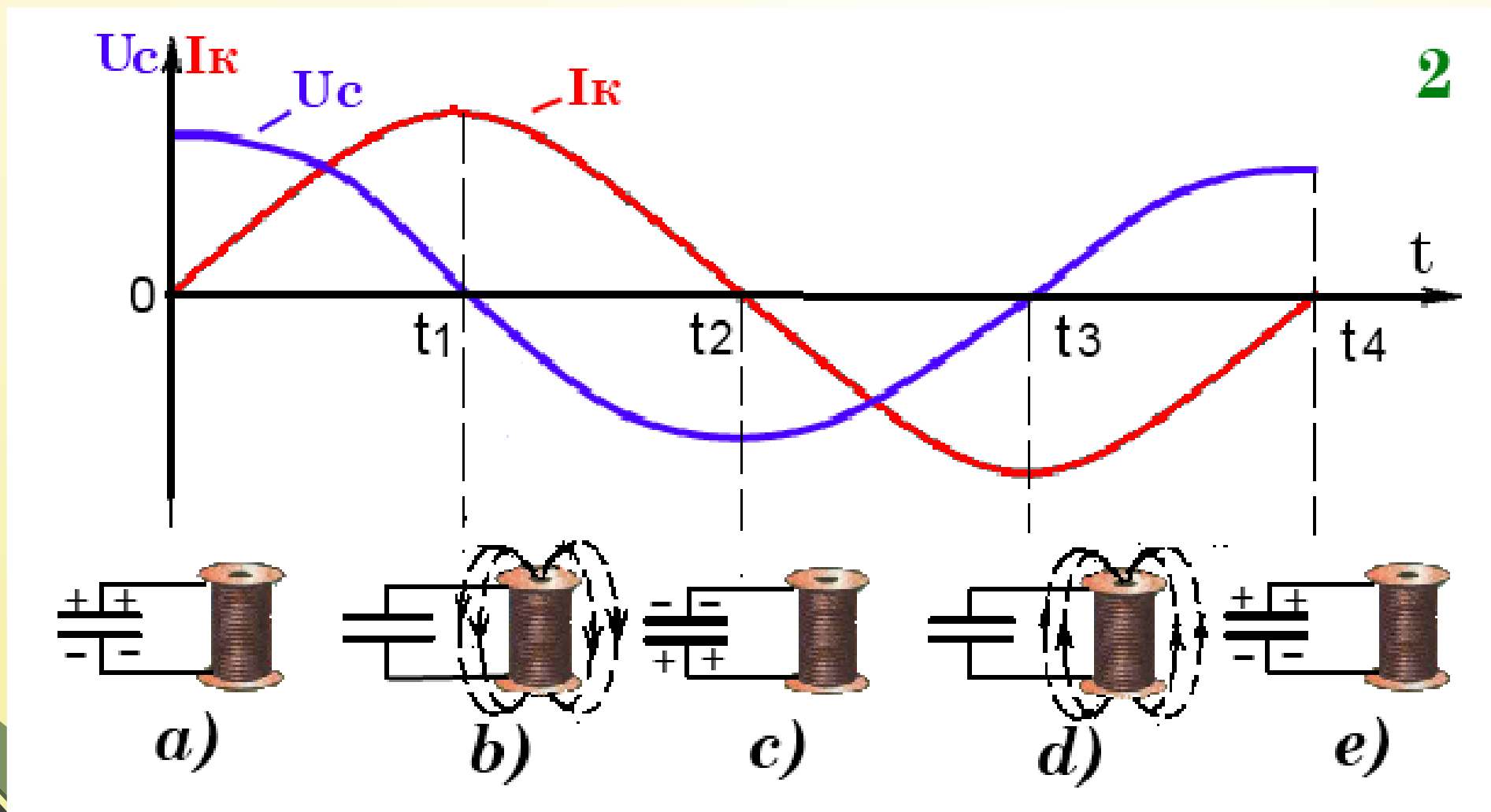
Колебательный контур

Цепь, содержащая индуктивность (L) и ёмкость (C) называется колебательным контуром.

Колебания в контуре можно вызвать либо зарядив конденсатор, либо вызвав в индуктивности ток. Т.к. $R=0$, то полная энергия контура $E=\text{const}$



Электромагнитные колебания



Электромагнитные колебания

Подобно тому как координата при механических колебаниях изменяется со временем по гармоническому закону

$$x = x_m \cos \omega t$$

Заряд конденсатора меняется с течением времени по тому же закону:

$$q = q_m \cos \omega t$$

Уравнение электромагнитных колебаний

$$q = q_{\max} \cos \omega t$$

$$i = q' = q_{\max} \omega \sin \omega t$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_{\max}}{C} \cos \omega t$$

$$I_{\max} = q_{\max} \omega$$

$$U_{\max} = \frac{q_{\max}}{C}$$

Характеристики электромагнитных колебаний

Циклическая частота

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

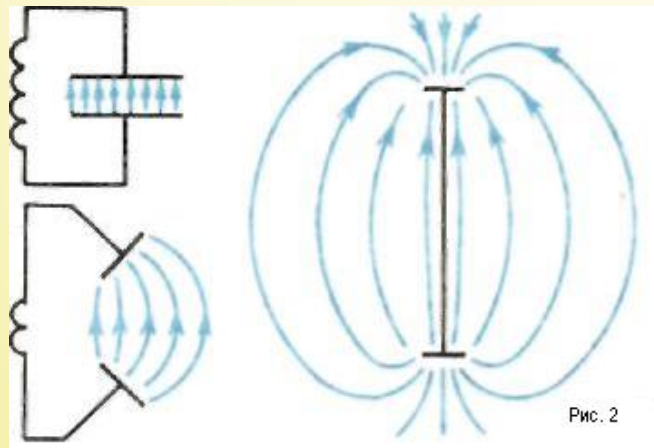
Период электромагнитных колебаний

Формула Томсона

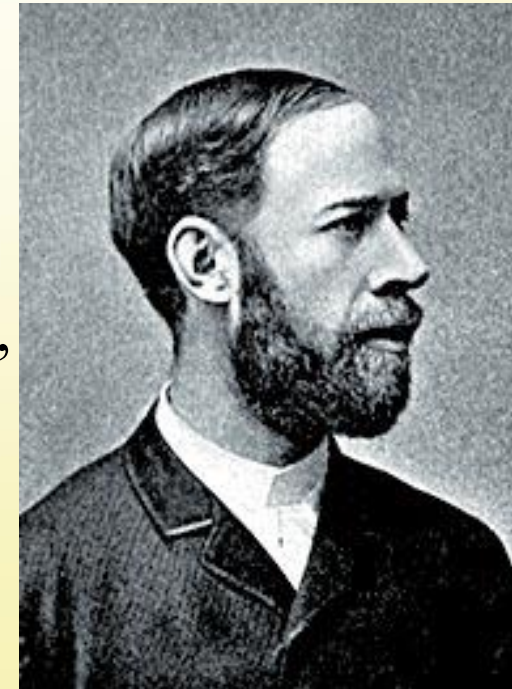
$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

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.

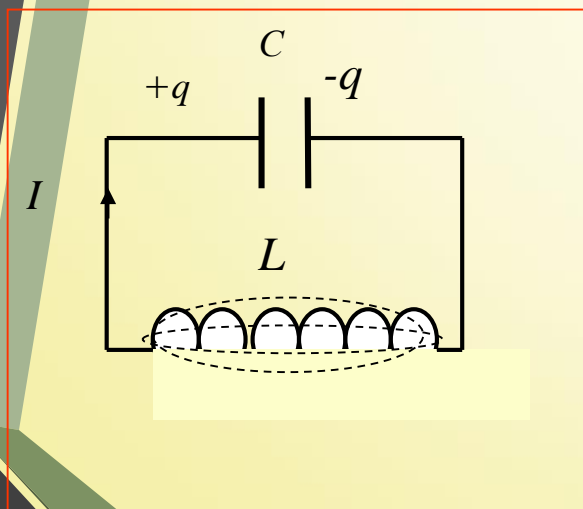


Герц экспериментально подтвердил поперечность электромагнитных волн.

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.



Закр^ытый
колебательный
контур

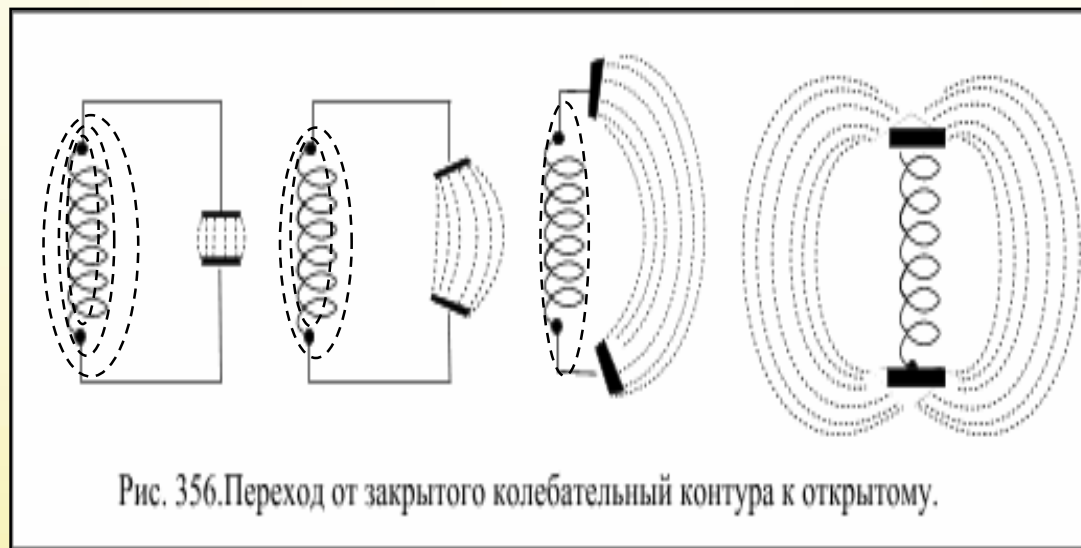
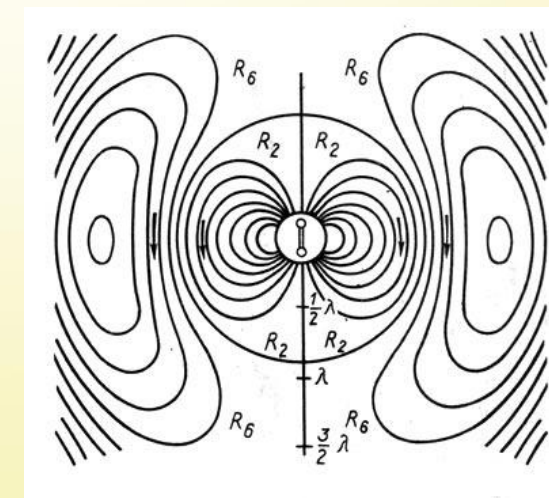


Рис. 356. Переход от закрытого колебательного контура к открытому.

Переход от закрытого контура к
открытому



Излучение

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.

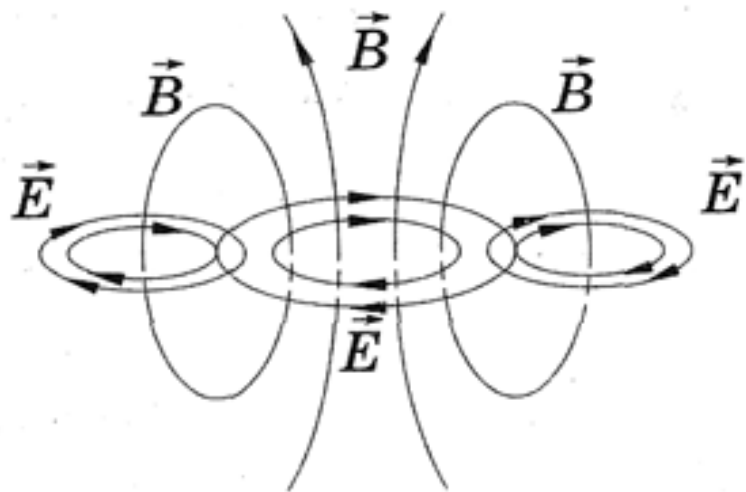
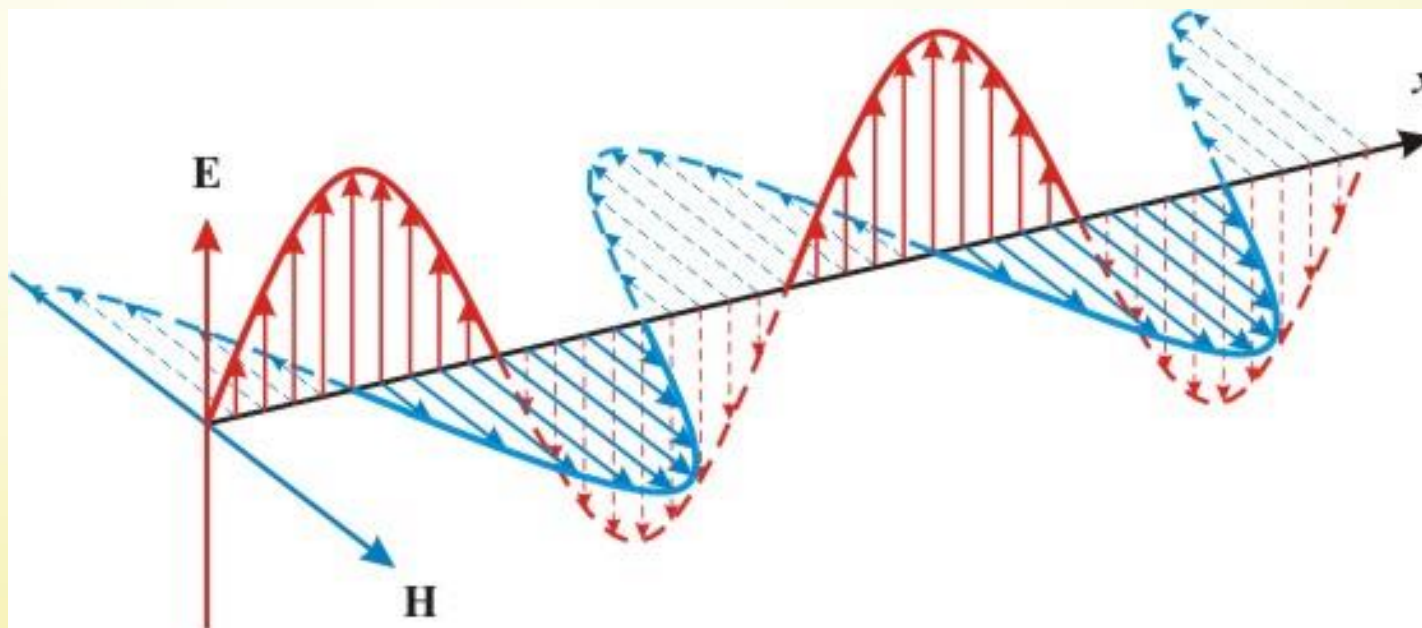


Рис. 30



Энергия и импульс электромагнитной волны

Объемная w плотность энергии электромагнитной волны складывается из объемных плотностей электрического $w_{\text{э}}$ и магнитного $w_{\text{м}}$ полей:

$$w = w_{\text{э}} + w_{\text{м}} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$$

В каждый момент времени объемные плотности электрического и магнитного полей одинаковы

$$w = 2w = \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} \sqrt{\mu_0 \mu} E H$$

$$w_{\text{э}} = w_{\text{м}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

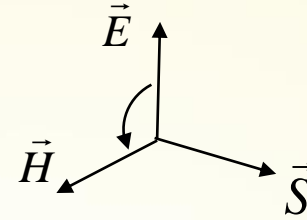
Для характеристики переносимой волной энергии и направления скорости было введено понятие *плотности потока энергии*

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}]$$

Вектор Умова - Пойнтинга

Вектор Пойнтинга

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}]$$



Вектор \vec{S} направлен в сторону распространения электромагнитной волны, а его модуль равен энергии, переносимой электромагнитной волны за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную распространения волны.

Так как векторы \vec{E} и \vec{H} взаимно перпендикулярны и образуют с направлением распространения волны правовинтовую систему, то направление вектора совпадают с направлением переноса энергии, а **модуль** этого вектора равен

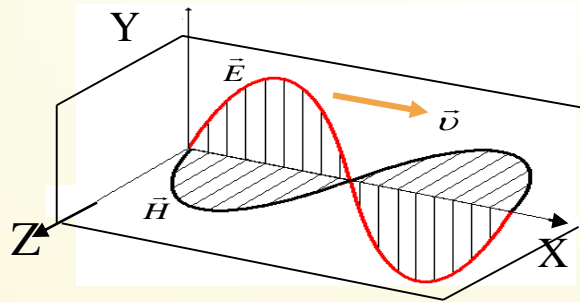
$$S = wv = EH$$

w - Объемная плотность энергии;

v - Фазовая скорость волны

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

- 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 отсутствие источников – зарядов и токов.**

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

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.

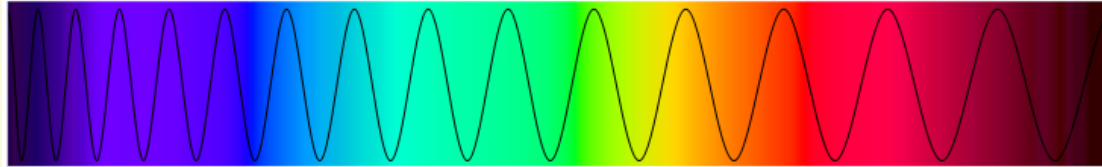
ИК излучение дают все нагретые тела при любой t^0 .

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 $t^\circ > 1000^\circ\text{C}$.

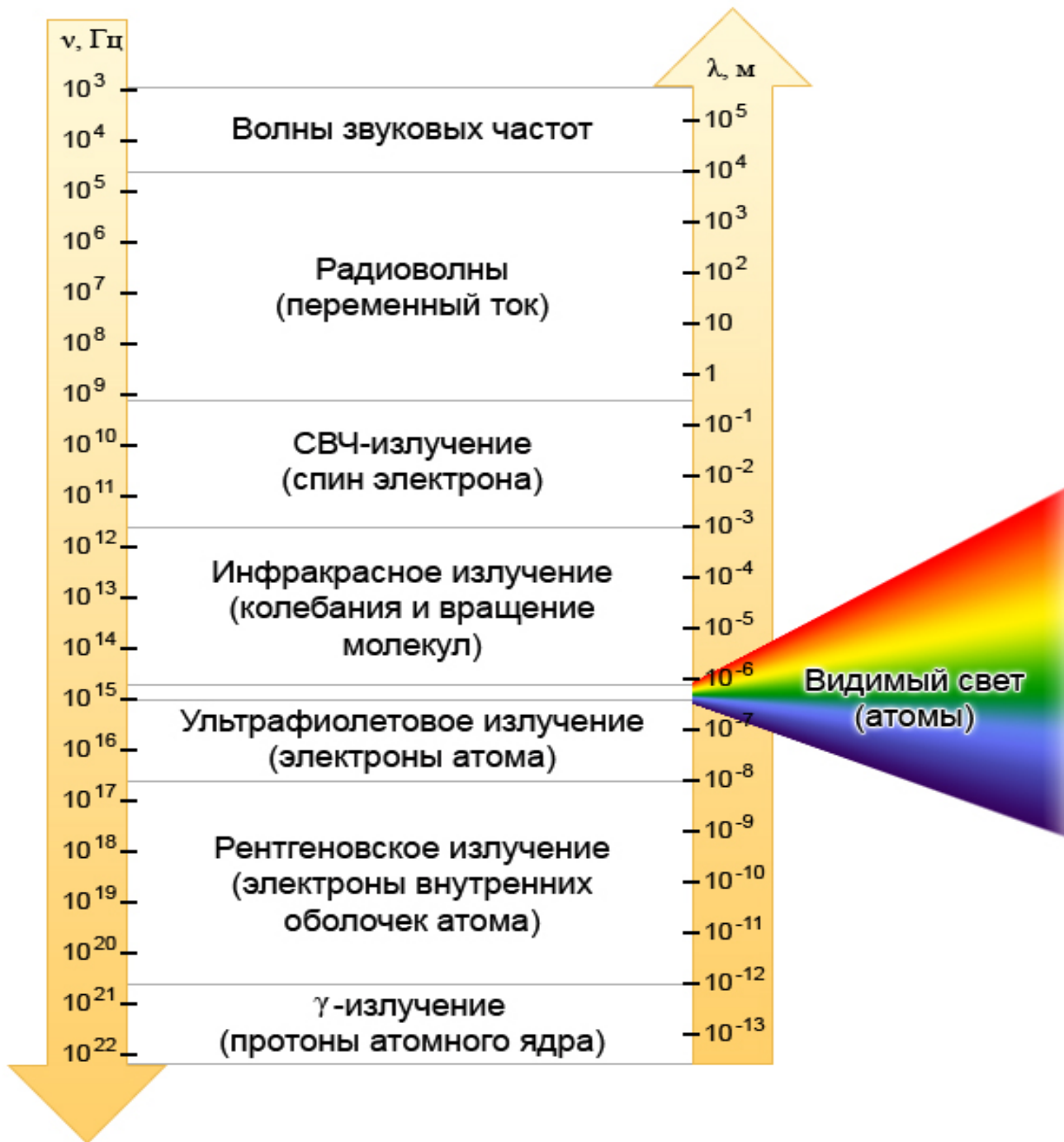
Рентгеновское излучение

Излучается при бомбардировке анода потоком частиц.

Большая проникающая способность (диагностика мед.)

γ - излучение

Источник: ядерные процессы



Шкала электромагнитных волн

