

# Электромагнетизм

Тема лекции

Сегодня пятница, 10 ноября 2017 г.

План:

1. Явление электромагнитной индукции.
2. Применение электромагнитной индукции.
3. Электромагнитные колебания и волны.

<https://yadi.sk/i/d0L9sGrw3PZkCP>



# Опыты Фарадея

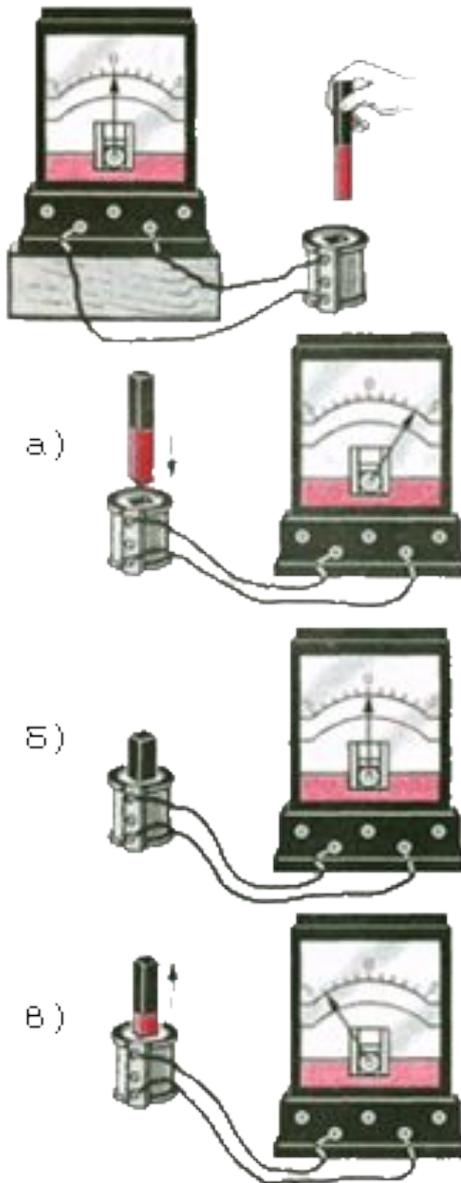
1831

год.

При движении постоянного магнита относительно катушки, подключенной к гальванометру, в ней возникает ток (стрелка гальванометра отклоняется), направление которого изменяется при изменении направления движения магнита.

Такое же явление наблюдалось, если магнит был неподвижен, а двигалась катушка.

Вместо постоянного магнита можно использовать другую катушку с током.



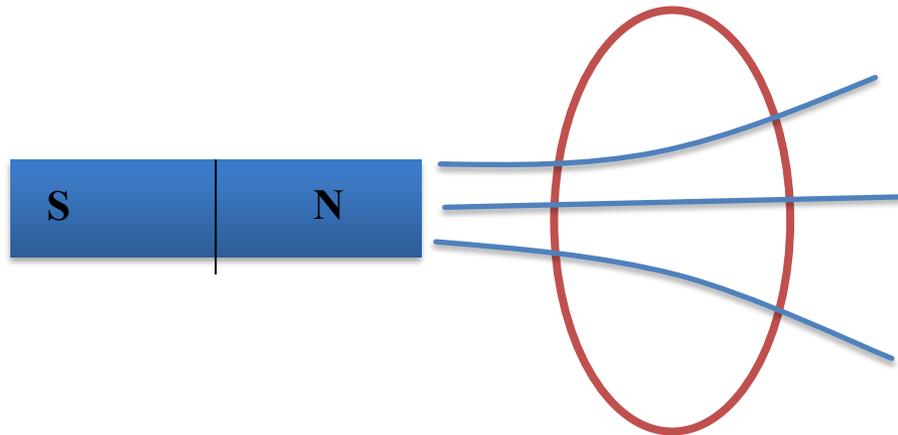
# Явление электромагнитной индукции

В опытах Фарадея демонстрируется явление, которое называют электромагнитной индукцией.

## Явление электромагнитной индукции:

в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром, возникает электрический ток.

Возникающий ток называют **индукционным током**.

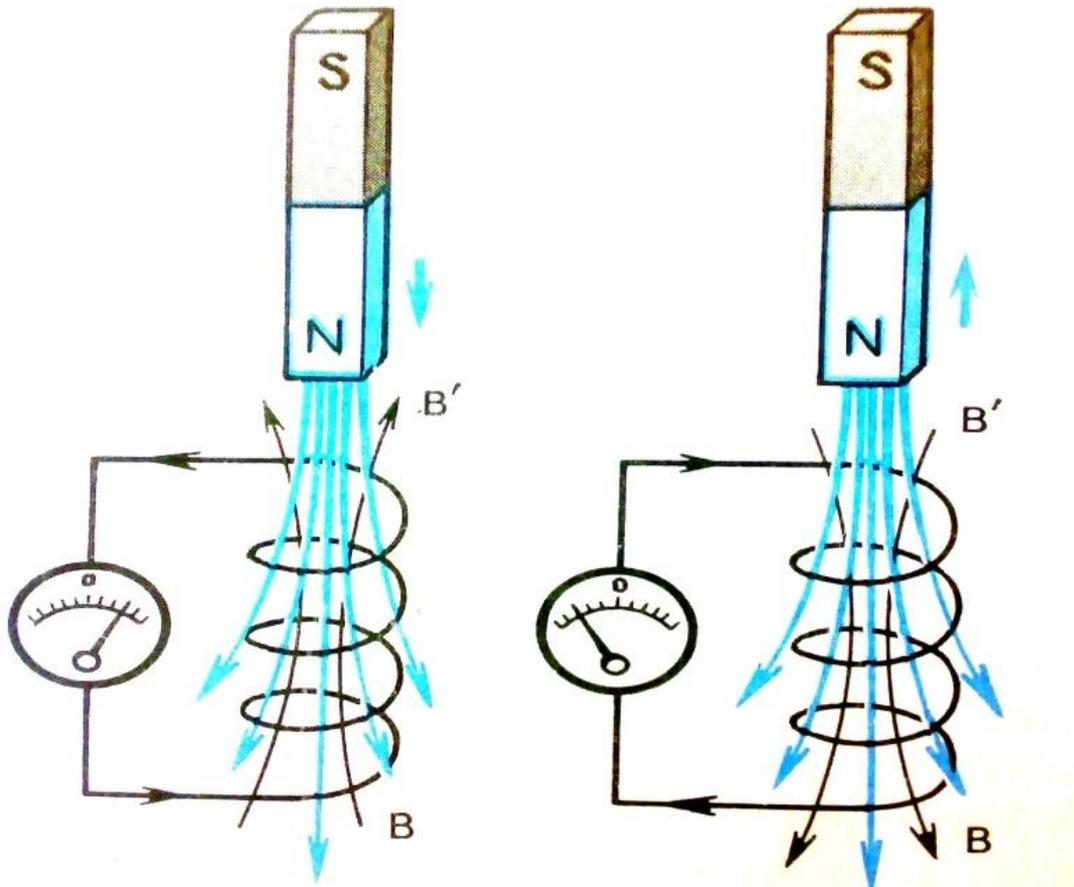


## Правило Ленца

Направление *индукционного тока* можно определить по **правилу**

**Ленца:**

индукционный ток в контуре имеет всегда такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.

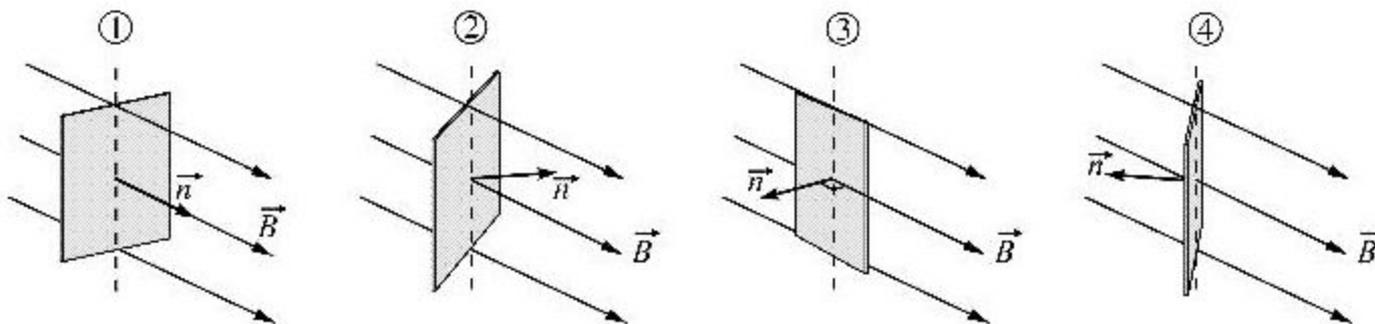
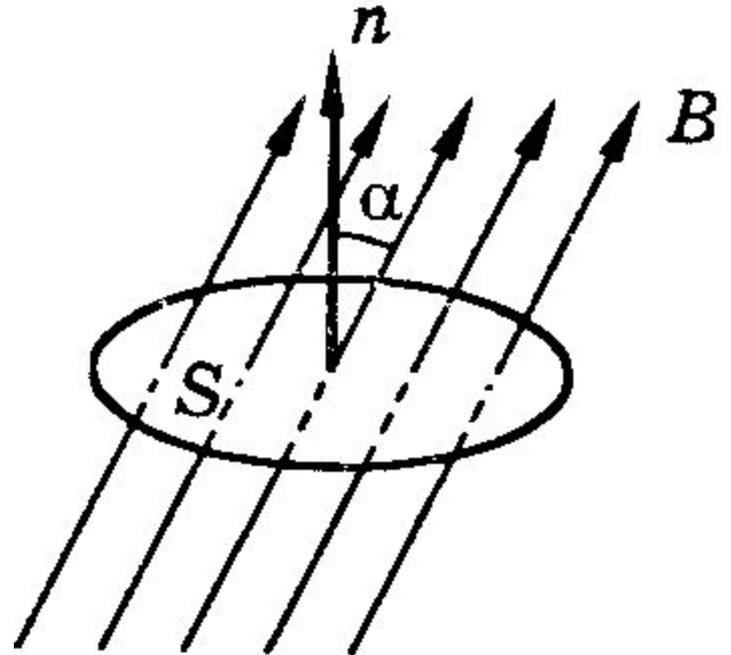


$B$  – внешнее поле  
 $B'$  – индуцированное поле

# Что такое магнитный поток?

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

$\Phi$  – магнитный поток,  
 $B$  – вектор магнитной индукции,  
 $S$  – площадь,  
 $\alpha$  – угол между нормалью  $n$  и  $B$   
 **$B$**   
В СИ единица измерения 1 вебер (Вб).



## Закон электромагнитной индукции

При изменениях магнитного потока в контуре возникает электродвижущая сила индукции  $\varepsilon_i$

Величина  $\varepsilon_i$  не зависит от способа, которым осуществляется изменение магнитного потока  $\Phi$ , и определяется лишь скоростью изменения.

$$\varepsilon_i = - \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} \text{ - закон электромагнитной индукции или закон Фарадея.}$$

$\varepsilon_i$  - ЭДС индукции,

$\Phi$  - магнитный поток,

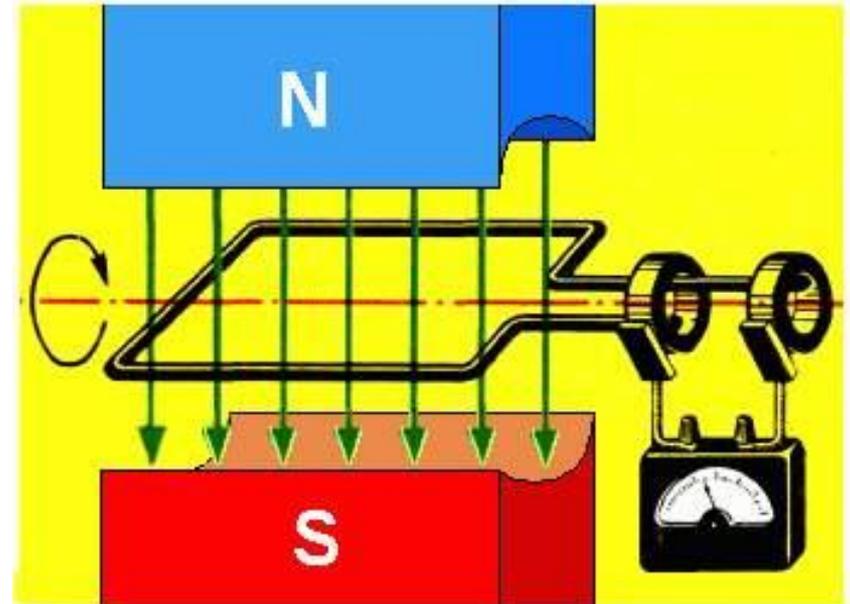
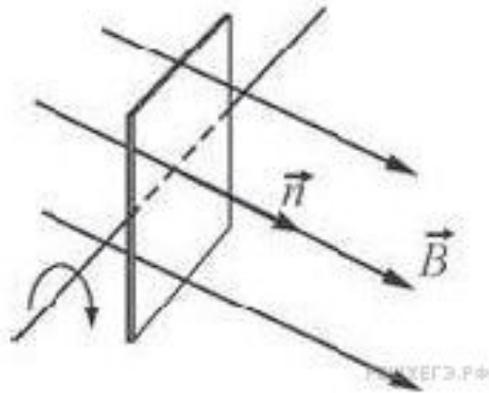
$t$  - время,

## Вращение рамки в однородном магнитном поле

Пусть рамка вращается в однородном магнитном поле равномерно с угловой скоростью  $\omega = \text{const}$ .

При вращении рамки в ней будет возникать переменная эдс индукции:

$$\varepsilon_i = BS \sin \omega t$$



Явление электромагнитной индукции лежит в основе работы всех генераторов тока.



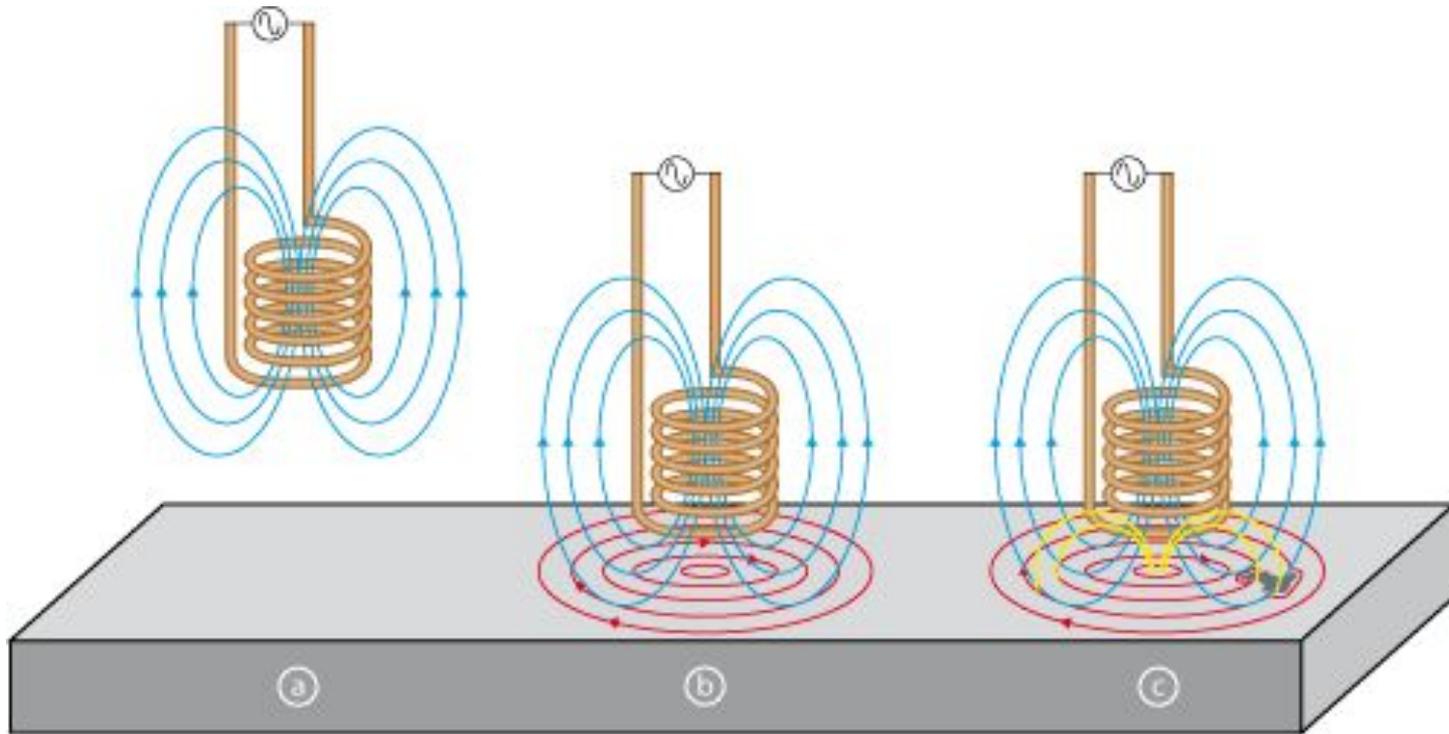
Генератор  
автомобиля



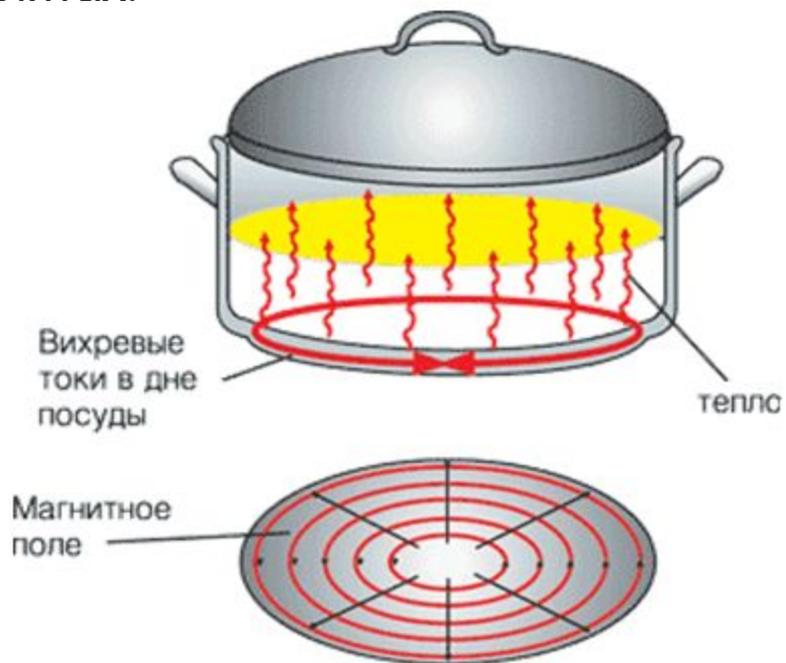
Миниэлектростанци  
я

## Токи Фуко

Индукционные токи могут возбуждаться и в сплошных массивных проводниках. В этом случае их называют **токами Фуко** или вихревыми токами.

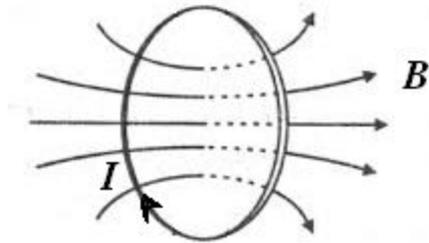


Тепловое действие вихревых токов (токов Фуко) используется в индукционных плитах.



## Явление самоиндукции

Пусть в замкнутом контуре течёт электрический ток  $I$ . Данный контур создаёт вокруг себя магнитное поле, а, значит и магнитный поток через контур  $\Phi$ .



При изменении тока в контуре  $I$  изменяется и поток через контур  $\Phi$ , а если меняется поток, то в соответствии с законом Фарадея в контуре должна индуцироваться эдс – возникает самоиндукция.

**Самоиндукция** – возникновение в замкнутом контуре эдс при изменении в нем силы тока.

Ток в контуре  $I$  и создаваемый им магнитный поток через контур  $\Phi$  пропорциональны друг другу:

$$\Phi = LI$$

Коэффициент пропорциональности  $L$  между силой тока и магнитным потоком  $\Phi$  называется **индуктивностью** контура.

За единицу индуктивности в СИ принимается индуктивность такого проводника, у которого при силе тока в нем в  $1\text{ А}$  возникает сцепленный с ним магнитный поток  $\Phi$ , равный  $1\text{ Вб}$ .

Эту единицу называют генри (Гн).

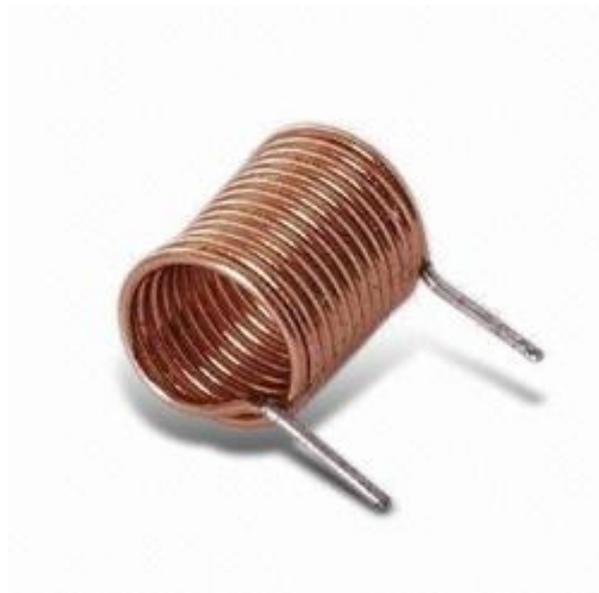
**Запишем закон Фарадея для самоиндукции:**

$$\varepsilon_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$\varepsilon_s$  - эдс самоиндукции,  
 $L$  - индуктивность контура,  
 $I$  - сила тока,  $t$  - время,

$$\Delta I = I_2 - I_1$$

Индуктивность зависит от геометрии контура (т. е. его формы и размеров), а также от магнитных свойств окружающей контур среды.

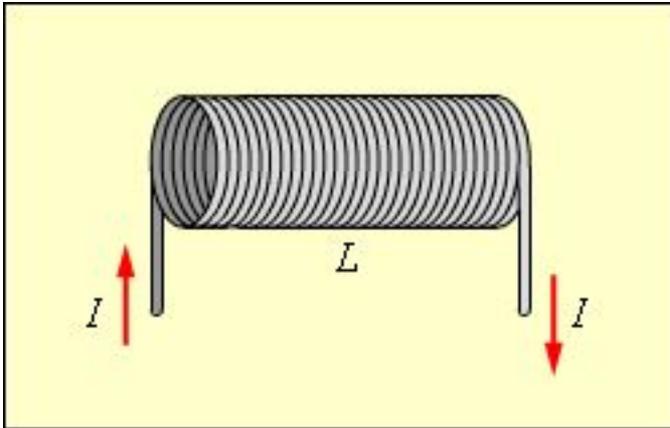


## Энергия магнитного поля

Энергия магнитного поля, связанного с проводником, равна:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

$L$  – индуктивность проводника,  
 $I$  – сила тока в проводнике.

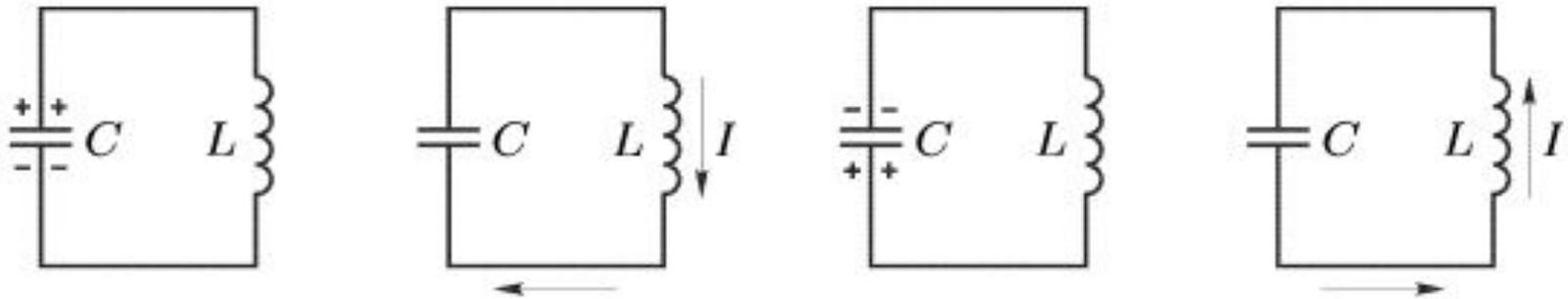


# Колебательный контур. Электромагнитные колебания.

**Колебательный контур** – цепь, состоящая из конденсатора емкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ .

Электромагнитные колебания в контуре можно вызвать, сообщив обкладкам конденсатора некоторый начальный заряд.

Стадии колебаний



Ток течёт за счёт разряда конденсатора

После разряда конденсатора ток течёт за счет самоиндукции

Период колебаний в контуре определяется формулой Томсона.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \text{- формула Томсона}$$

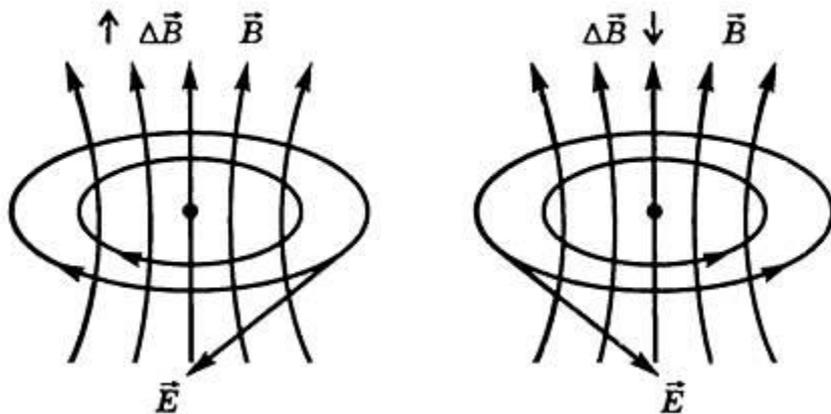
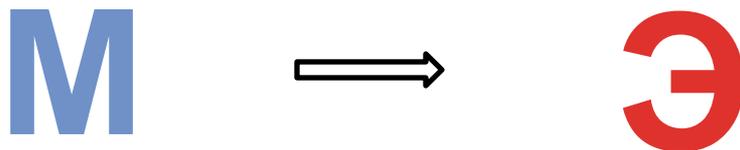
$T$  – период колебаний в контуре.

$L$  – индуктивность катушки,

$C$  - ёмкость конденсатора.

## Вихревое электрическое поле

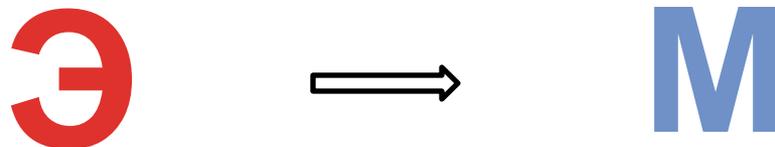
В 1860г. Джеймс Максвелл предположил, что изменяющееся со временем магнитное поле порождает вихревое электрическое поле.



Линии напряженности вихревого поля всегда замкнуты подобно линиям индукции магнитного поля.

Вихревое электрическое поле порождается только изменяющимся магнитным полем.

Так же, Максвелл предположил, что изменяющееся во времени электрическое поле порождает магнитное поле.



## Электромагнитные волны

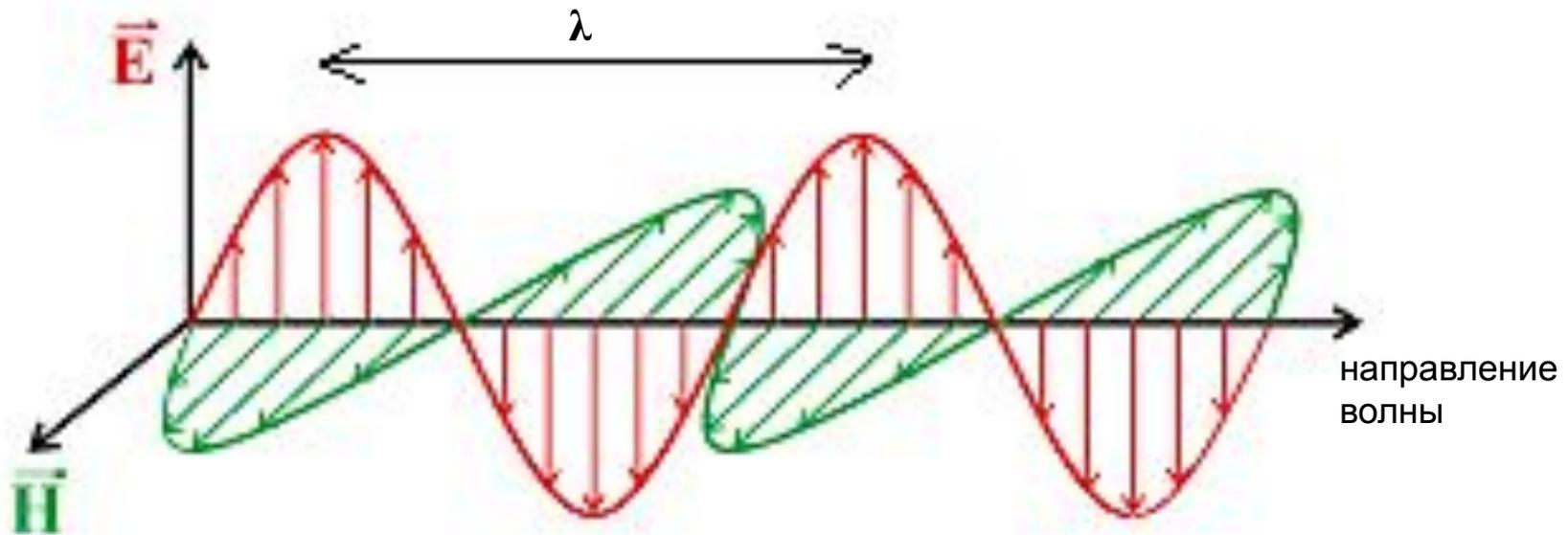
Максвелл впервые предположил, что существует единое электромагнитное поле, которое проявляет себя в определенных случаях как электрическое или как магнитное поля.

Основным следствием теории Максвелла был вывод о существовании электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью света:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} * 12,56 \cdot 10^{-7}}} = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

Это позволило предположить, что свет, по своей природе, является электромагнитной волной.

В электромагнитной волне колеблются электрическое и магнитное поля. Причём колебания полей происходит поперёк волны, т.е. э/м волна является поперечной.



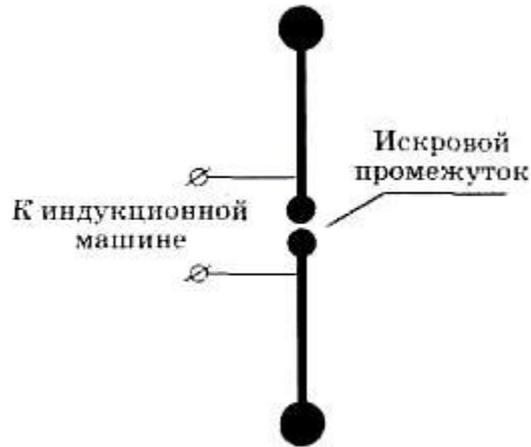
Длина волны  $\lambda$  и ее частота  $\nu$  связаны выражением:

$$\lambda \nu = c$$

где  $c=3 \cdot 10^8$  – скорость света.

# Экспериментальное исследование электромагнитных волн

Электромагнитные волны впервые экспериментально получил Г. Герц в 1888 г. Для этого он использовал открытый колебательный контур, который позднее назвали вибратором Герца.



В 1896 г. А. С. Попов впервые осуществил с помощью электромагнитных волн передачу сообщения на расстояние около 250 м (были переданы слова «Генрих Герц»). Тем самым было положено начало эры радиосвязи.



Электромагнитные волны, используемые для радиосвязи, называют радиоволнами.

1. Длинные волны (диапазон ДВ) – радиоволны длиной от 10 км до 1 км, что соответствует частотам от 30 кГц до 300 кГц
2. Средние волны (диапазон СВ) – радиоволны длиной от 1000 м до 100 м, что соответствует частотам от 300 кГц до 3 МГц
3. Короткие волны (диапазон КВ) – от 100 м до 10 м, частоты – от 3 МГц до 30 МГц соответственно
4. Ультракороткие волны (диапазон УКВ) – радиоволны длиной от 10 м до 1 см, что соответствует частотам от 30 МГц до 30 ГГц
  - 1) метровые волны (1 -10 м),
  - 2) дециметровые волны (10 - 100 см)
  - 3) сантиметровые волны (1 – 10 см).



Лекция окончена.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**