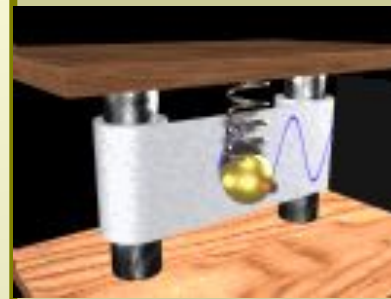


# ФИЗИКА

МП-21-1  
ГРУППА



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ  
КОЛЕБАНИЯ



# *Гипотеза Джеймса Клерка Максвелла*

---



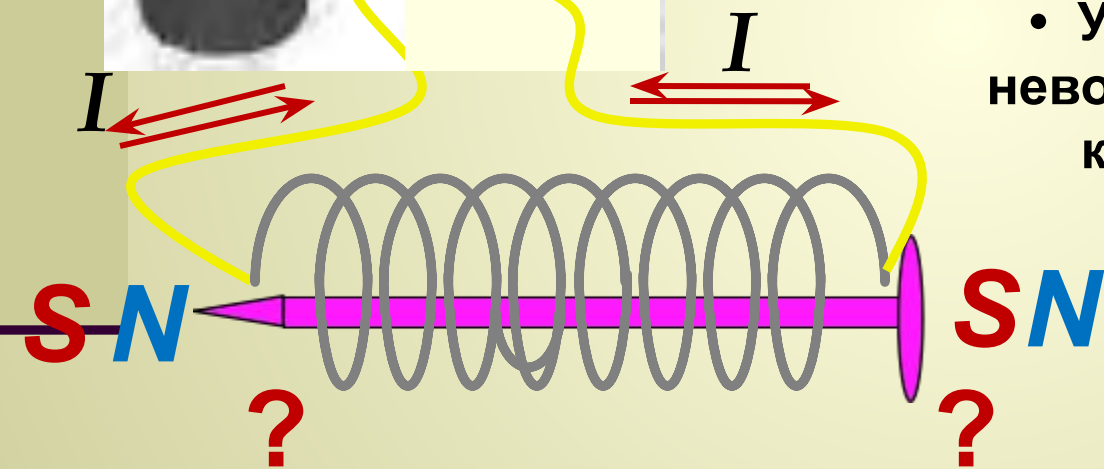
Существование электромагнитных полей было теоретически предсказано великим английским физиком Максвеллом в 1864 году.

Согласно теории **Максвелла**, переменные электрические и магнитные поля не могут существовать по отдельности: изменяющееся магнитное поле порождает электрическое поле, а изменяющееся электрическое поле порождает магнитное (таким образом получаем колебания электрического и магнитного полей, которые сопровождаются электромагнитными колебаниями)

# ОТКРЫТИЕ СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ



- Замыкали обкладки лейденской банки с помощью катушки
- Обнаруживали намагничивание стальной спицы, помещенной внутрь катушки
- Удивляло то, что заранее невозможно было предсказать, какой конец спицы будет северным полюсом, а какой - южным

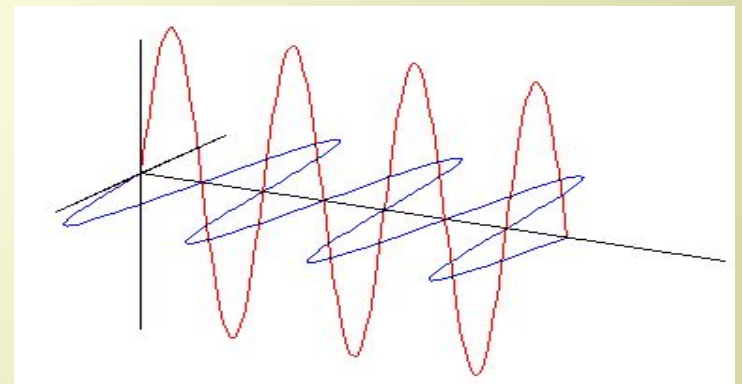


- При разрядке конденсатора через катушку возникают колебания: конденсатор успевает многократно перезарядиться и ток меняет направление много раз

Периодические или почти периодические изменения заряда, силы тока и напряжения называются **электромагнитными колебаниями**

---

Эти колебания происходят с очень большой частотой, для их наблюдения и исследования используют электронный осциллограф

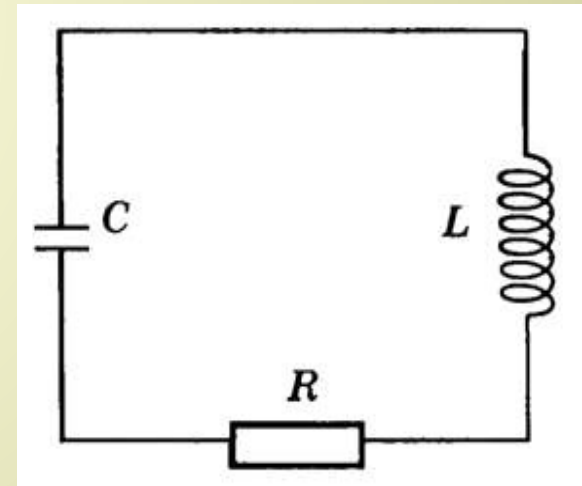


# *Колебательный контур*

Простейшей системой, где могут возникнуть и существовать электромагнитные колебания, является **колебательный контур**.

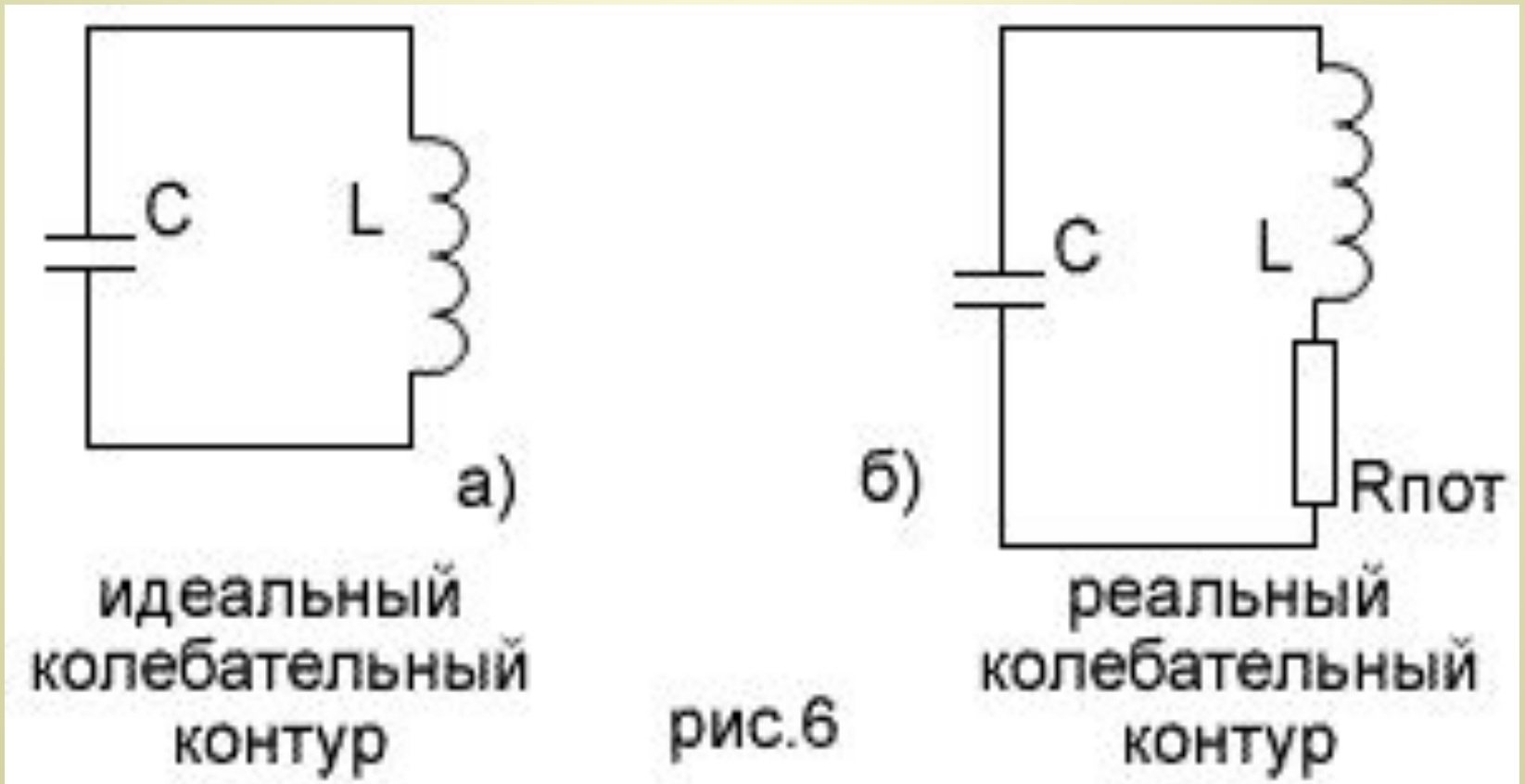
**Колебательный контур** — цепь, состоящая из включенных последовательно

- 1) катушки индуктивностью  $L$ ,
- 2) конденсатора емкостью  $C$  и
- 3) резистора сопротивлением  $R$



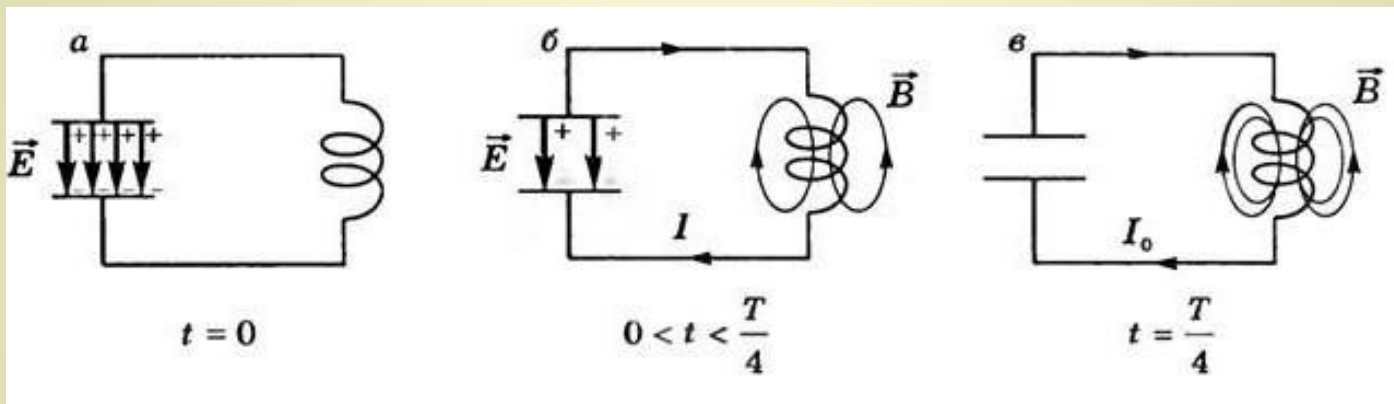
# *Идеальный контур Томсона*

**Идеальный контур Томсона — колебательный контур без активного сопротивления ( $R = 0$ ).**

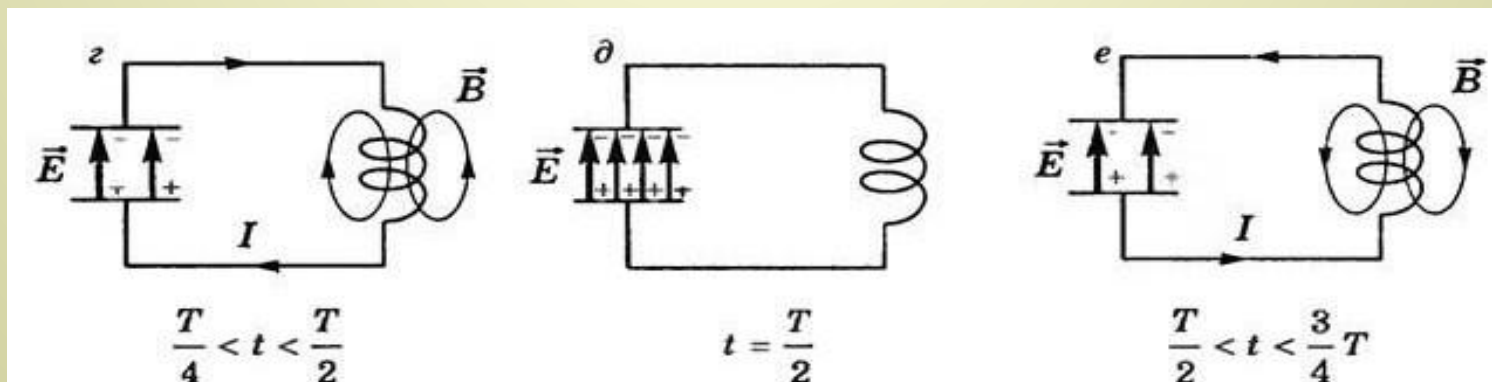


# Возникновение свободных э.м. колебаний

Если конденсатор зарядить и замкнуть на катушку, то по катушке потечет ток. Когда конденсатор разрядится, ток в цепи не прекратится из-за самоиндукции в катушке.

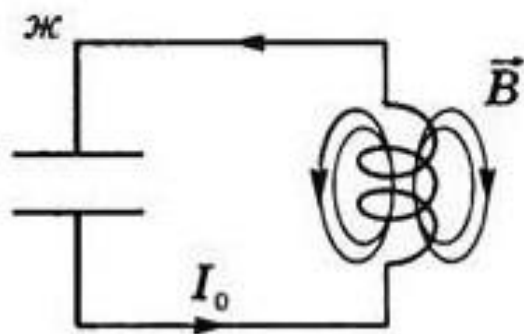


Индукционный ток, в соответствии с правилом Ленца, будет течь в ту же сторону и перезарядит конденсатор.(рис  $\partial$  )

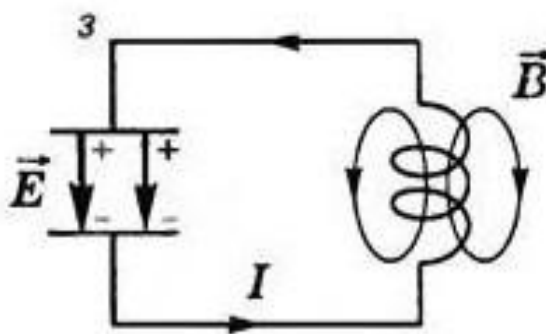


## Возникновение свободных э/м колебаний

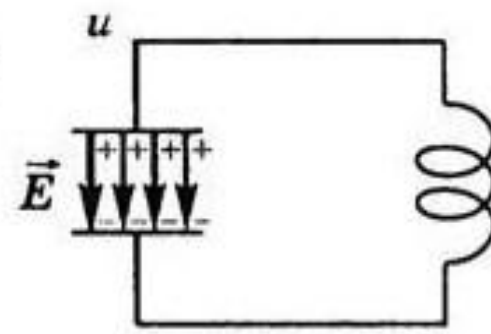
Ток в данном направлении прекратится, и процесс повторится в обратном направлении. Таким образом, в колебательном контуре будут происходить электромагнитные колебания.



$$t = \frac{3}{4}T$$



$$\frac{3}{4}T < t < T$$



$$t = T$$



# Превращение энергии при э/м колебаний

По мере разрядки конденсатора энергия электрического поля  $W_{\text{э}}$  уменьшается, так как уменьшается заряд на обкладках конденсатора, но одновременно возрастает энергия магнитного поля тока  $W_{\text{м}}$ .

*Максимальная энергия электрического поля*  
$$\frac{q_m^2}{2C} \quad \frac{CU^2}{2}$$

В момент, когда конденсатор полностью разрядится, энергия электрического поля станет равна нулю (так как заряд конденсатора равен нулю). Энергия магнитного поля станет максимальной (по закону сохранения энергии).

*Максимальная энергия магнитного поля*  
$$\frac{LI^2}{2}$$

энергия  $W$  электромагнитного поля контура равна сумме его энергий магнитного  $W_{\text{м}}$  и электрического  $W_{\text{э}}$  полей.

*Где  $i$  и  $q$  – сила тока и электрический заряд в любой момент времени*

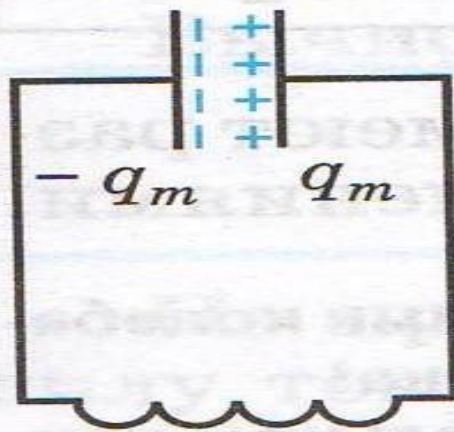
# *Преобразование энергии при э/м колебаний*

Полная энергия  $W$  электромагнитного поля контура равна сумме его энергий магнитного  $W_M$  и электрического  $W_E$  полей:

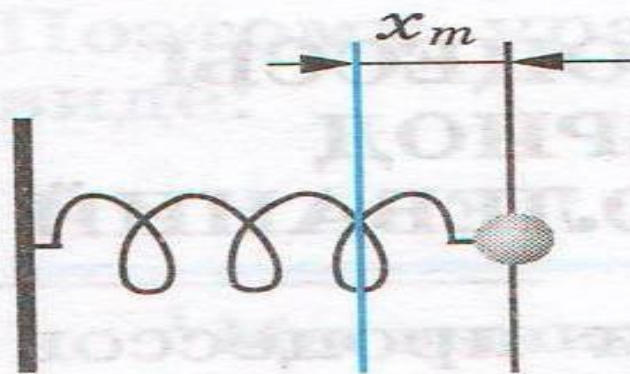
$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C}$$

*Где  $i$  и  $q$  – сила тока и электрический заряд в любой момент времени*

Аналогия между механическими  
и электромагнитными  
колебаниями

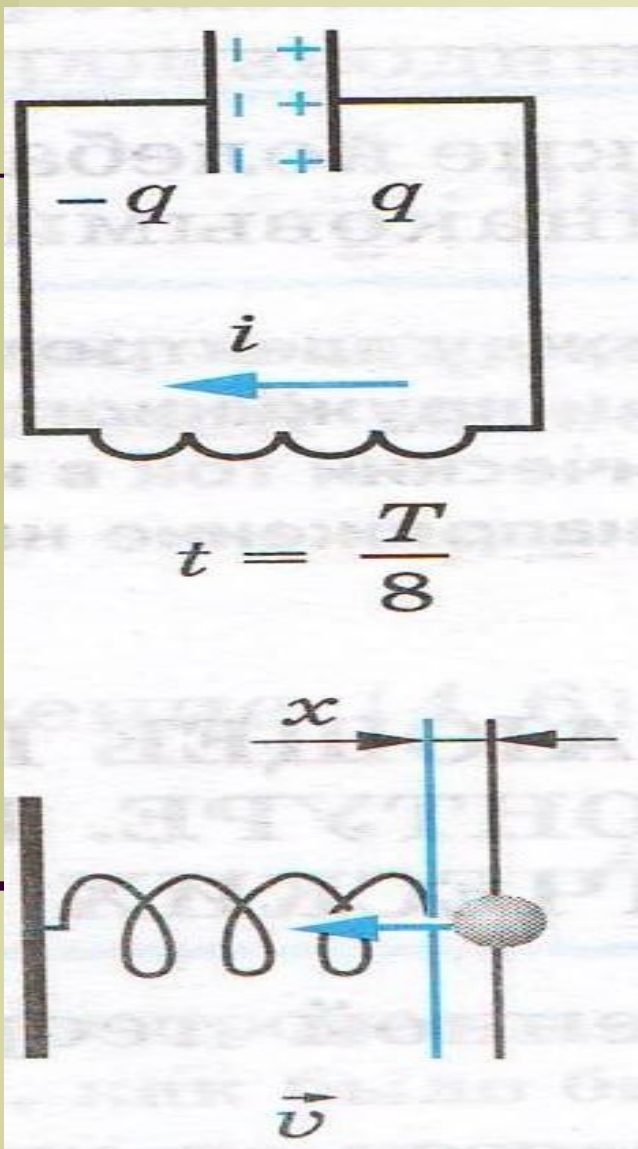


$t = 0$

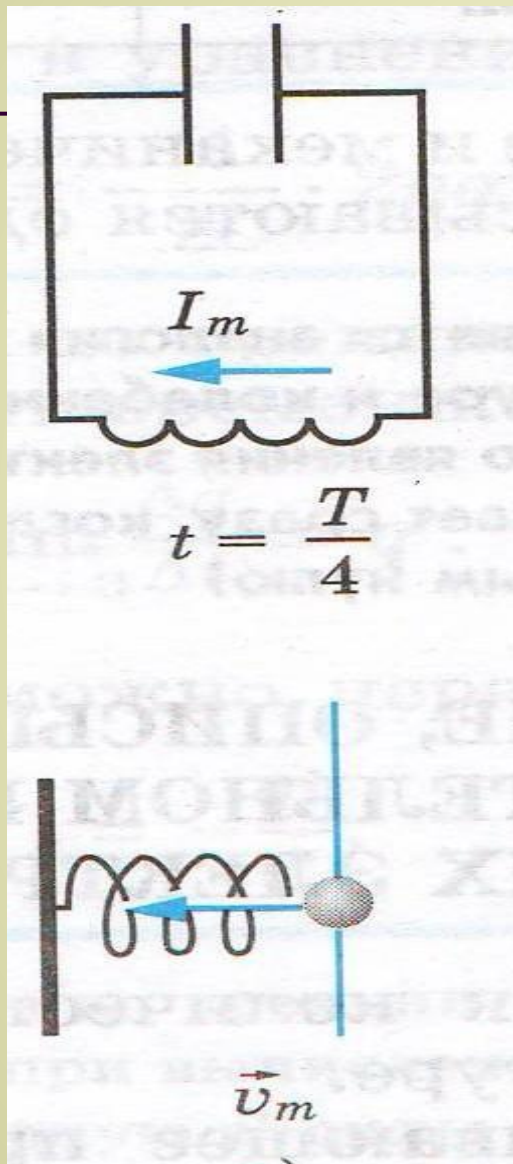


$\vec{v} = 0$

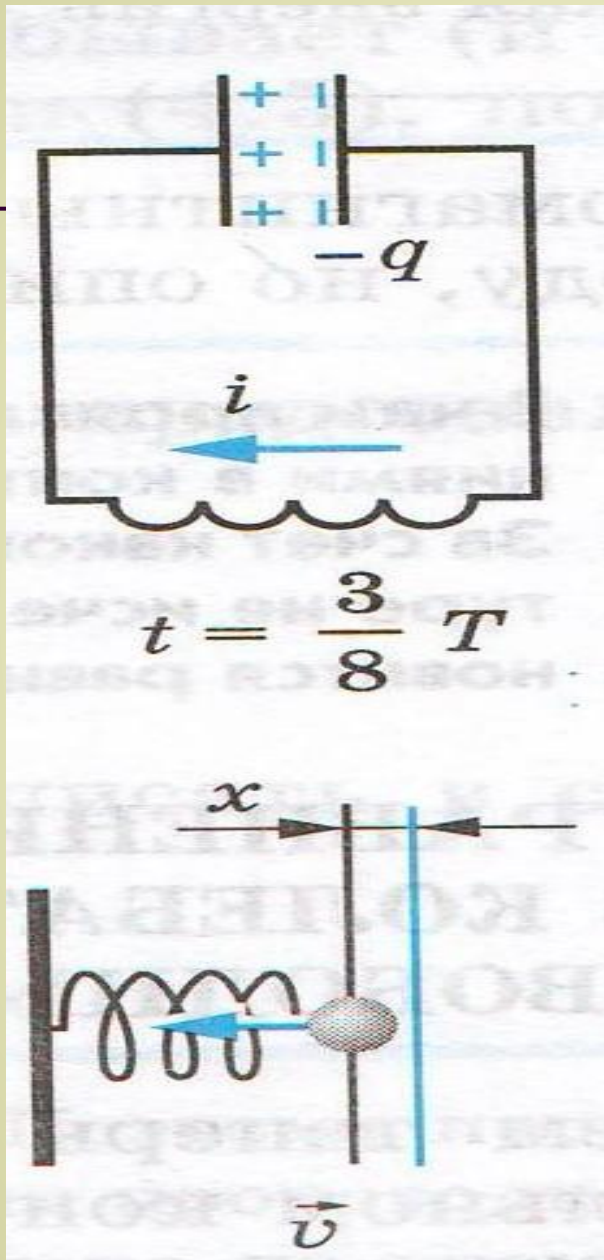
**Зарядка конденсатора аналогична отклонению тела от положения равновесия на некоторую величину  $x_m$ .**



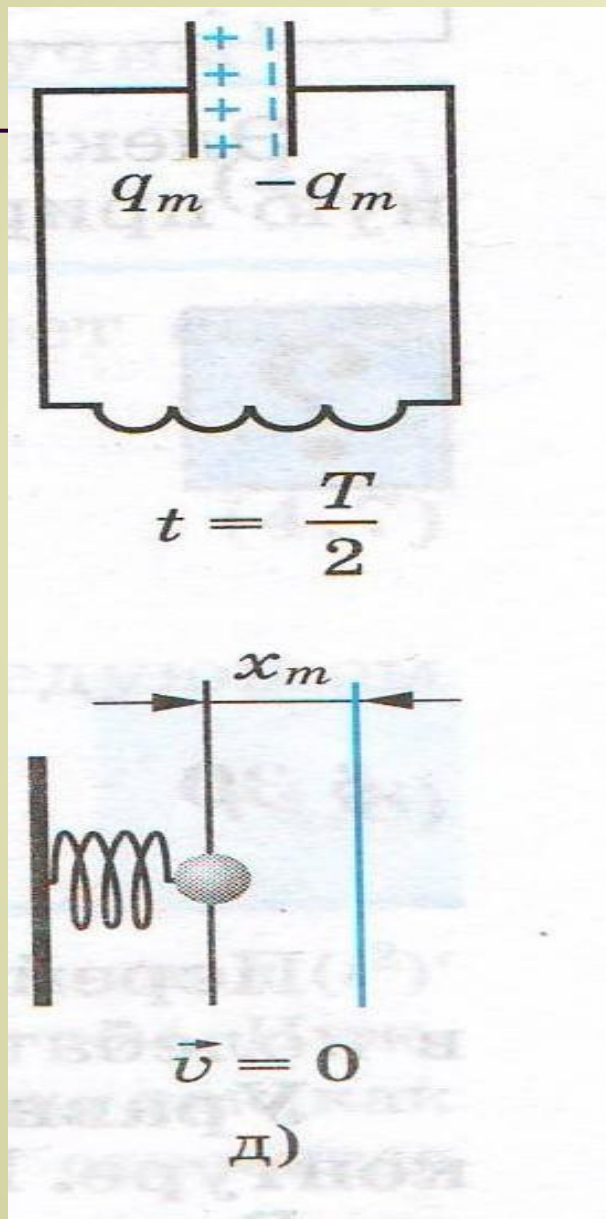
**Возникновение в цепи тока соответствует появлению в механической колебательной системе скорости тела под действием силы упругости пружины.**



**Момент времени, когда конденсатор разрядится, а сила тока достигнет максимума, аналогичен тому моменту времени, когда тело с максимальной скоростью проходит положение равновесия.**



**Далее конденсатор  
начнет  
перезаряжаться, а  
тело в ходе  
механических  
колебаний  
продолжает  
смещаться влево от  
положения  
равновесия.**



По происшествии  
половины периода  
колебаний  
конденсатор  
полностью  
перезарядился, а  
тело отклонилось в  
крайнее левое  
положение, когда его  
скорость стала равна  
нулю



# Соответствие между механическими и электромагнитными колебаниями можно свести в таблицу

Механическая величина	Электрическая величина
Координата $x$	Заряд $q$
Скорость $v_x$	Сила тока $i$
Масса $m$	Индуктивность $L$
Жесткость пружины $k$	Величина, обратная емкости, $\frac{1}{C}$
Потенциальная энергия $\frac{kx^2}{2}$	Энергия электрического поля $\frac{q^2}{2C}$
Кинетическая энергия $\frac{mv_x^2}{2}$	Энергия магнитного поля $\frac{Li^2}{2}$

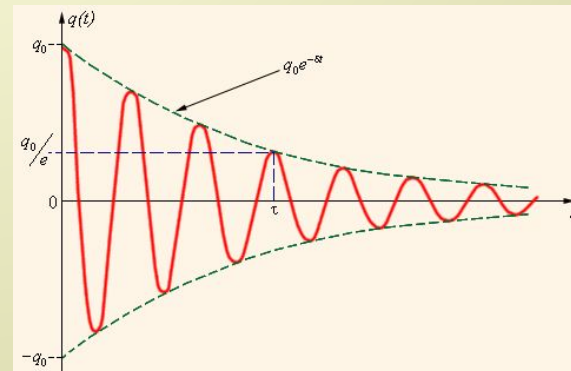
# СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

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

В реальном колебательном контуре свободные электромагнитные колебания будут затухающими из-за потерь энергии на нагревание проводов. **Согласно закону Джоуля-Ленца, энергия электрического тока будет постепенно превращаться в теплоту**

$$Q = I^2 R \Delta t$$

По этой причине **свободные колебания в контуре всегда являются затухающими**



# Формула Томсона

---

Период электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре (т. е. в таком контуре, где нет потерь энергии) зависит от индуктивности катушки и емкости конденсатора и находится по формуле Томсона, где

*T* - это период колебания - промежуток времени, через который значения колеблющихся величин периодически повторяются

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

# Уравнение, описывающее колебания в контуре

$$q'' = -\frac{1}{LC}q$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

*формула Томсона*

$$q = q_{max} \cos \omega_0 t$$

$$i = I_m \cos(\omega_0 t + \pi/2)$$

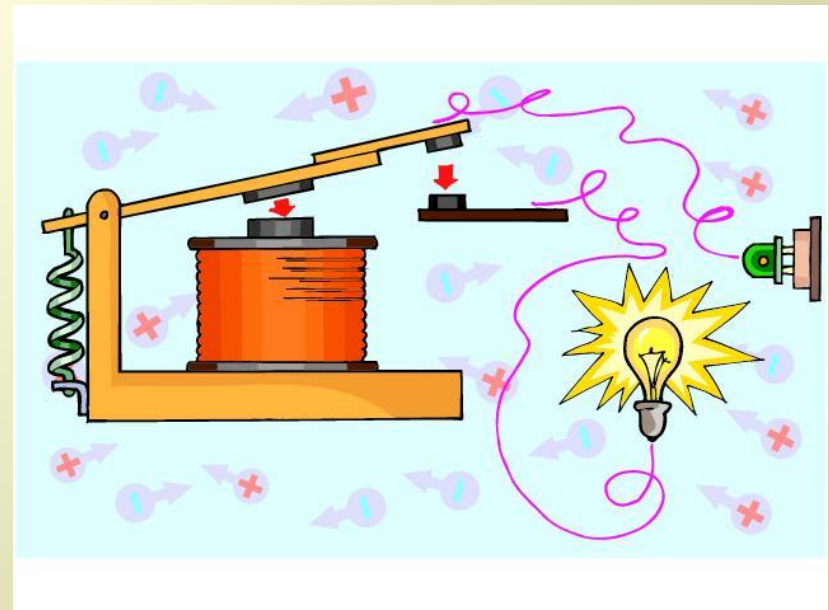
---

Незатухающие колебания в цепи  
под действием внешней,  
периодически изменяющейся ЭДС –  
называются вынужденными  
электромагнитными колебаниями

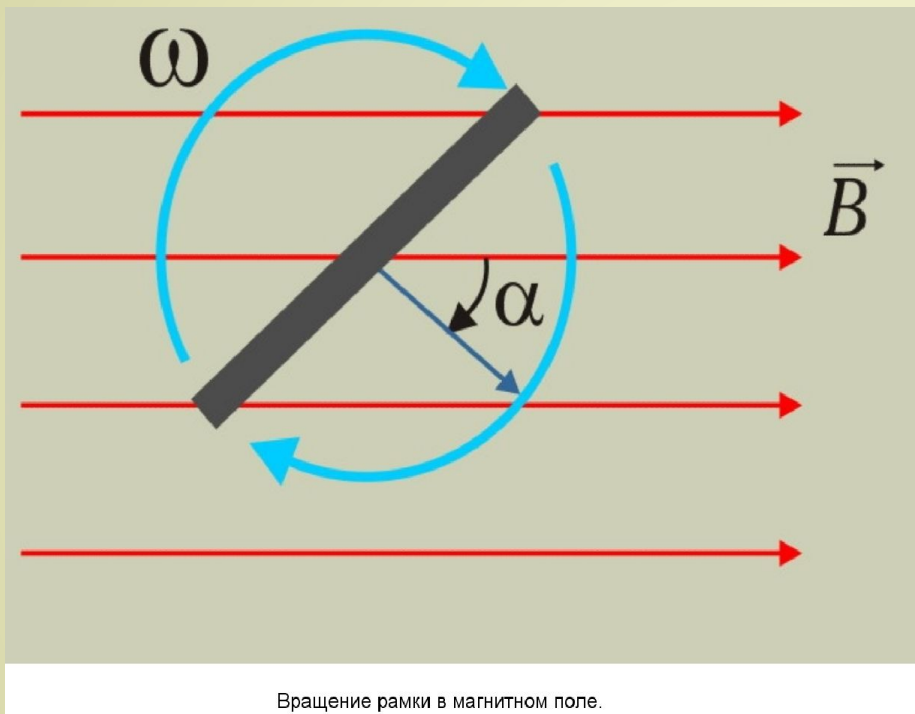
Электрический ток величина и направление которого меняются с течением времени называется **переменным**.

**Переменный электрический ток** представляет собой вынужденные электромагнитные колебания.  
Частота переменного тока – число колебаний в 1с.

Стандартная промышленная частота переменного тока – 50Гц. Это значит, что за 1с ток 50 раз течет в одну сторону и 50 раз - в противоположную.



# Получение переменной ЭДС



Переменный ток может возникать при наличии в цепи переменной ЭДС. Получение переменной ЭДС в цепи основано на явлении электромагнитной индукции. Для этого токопроводящую рамку равномерно с угловой скоростью  $\omega$  вращают в однородном магнитном поле. При этом значение угла  $\alpha$  между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции будет определяться выражением:

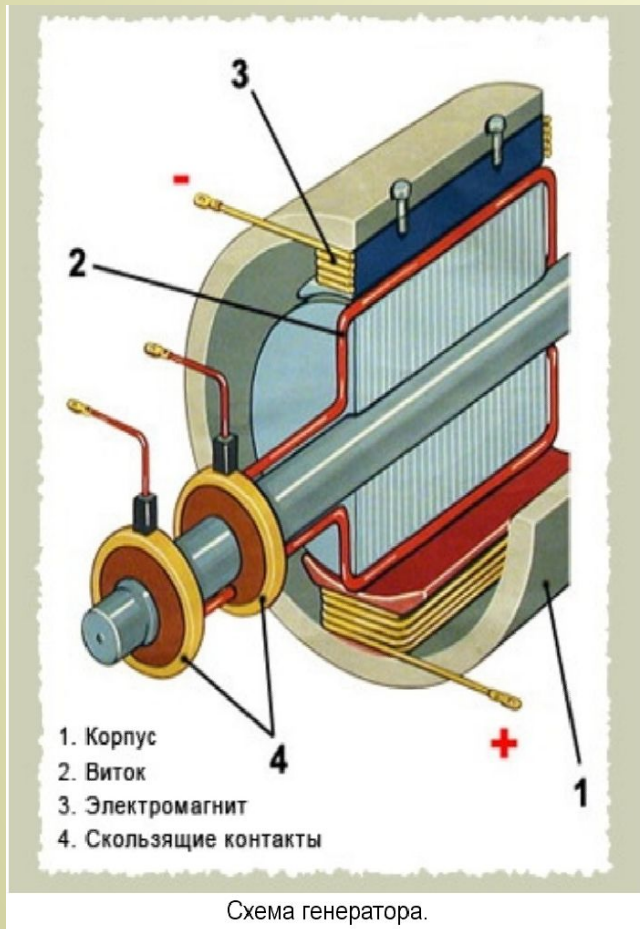
$$\alpha = \omega \cdot t$$

Следовательно, величина магнитного потока, пронизывающего рамку, будет изменяться со временем по гармоническому закону:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha = B \cdot S \cdot \cos \omega \cdot t$$

Согласно закону Фарадея, при изменении потока магнитной индукции, пронизывающего контур, в контуре возникает ЭДС индукции. Используя понятие производной, уточняем формулу для закона электромагнитной индукции

$$e = -\Phi'_t = -\left(B \cdot S \cdot \cos \omega \cdot t\right)'_t = B \cdot S \cdot \omega \sin \omega \cdot t$$



При изменении магнитного потока, пронизывающего контур, ЭДС индукции также изменяется со временем по закону синуса (или косинуса).

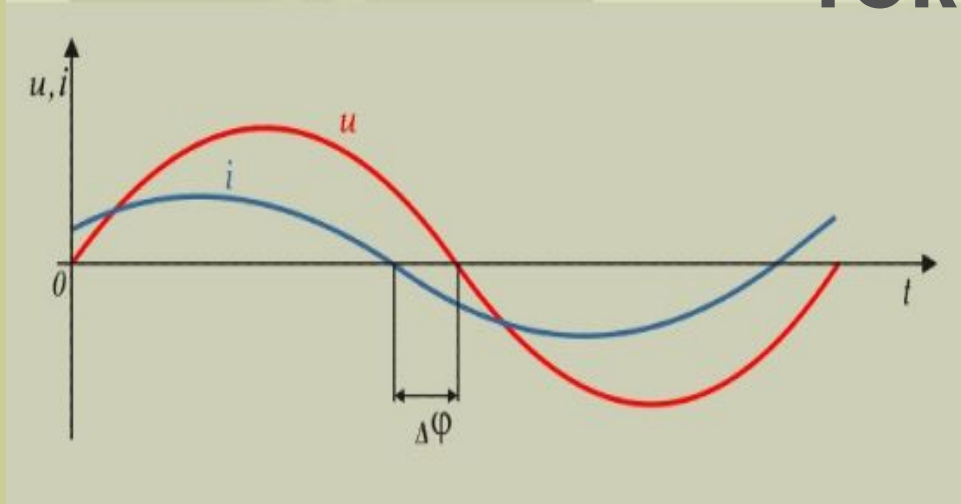
$$\varepsilon_m = B \cdot S \cdot \omega \quad \text{- максимальное значение или амплитуда ЭДС.}$$

Если рамка содержит **N** витков, то амплитуда возрастает в **N** раз. Подключив источник переменной ЭДС к концам проводника, мы создадим на них переменное напряжение:

$$u = U_m \cdot \sin \omega \cdot t$$



# Общие соотношения между напряжением и силой тока



Как и в случае постоянного тока, сила переменного тока определяется напряжением на концах проводника. Можно считать, что в данный момент времени сила тока во всех сечениях проводника имеет одно и то же значение.

Но фаза колебаний силы тока может не совпадать с фазой колебаний напряжения.

В таких случаях принято говорить, что существует сдвиг фаз между колебаниями тока и напряжения. В общем случае мгновенное значение напряжения и силы тока можно определить:

$$u = U_m \cdot \sin \omega t \quad \text{ИЛИ} \quad u = U_m \cos \omega t$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad i = I_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$\varphi$  – сдвиг фаз между колебаниями тока и напряжения

$I_m$  – амплитуда тока, А.

Незатухающие колебания в цепи под действием внешней, периодически изменяющейся ЭДС – называются вынужденными электромагнитными колебаниями

$$e = E_m \sin \omega t$$

*мгновенное значение ЭДС индукции в данный момент времени)*

*Амплитудное значение ЭДС*

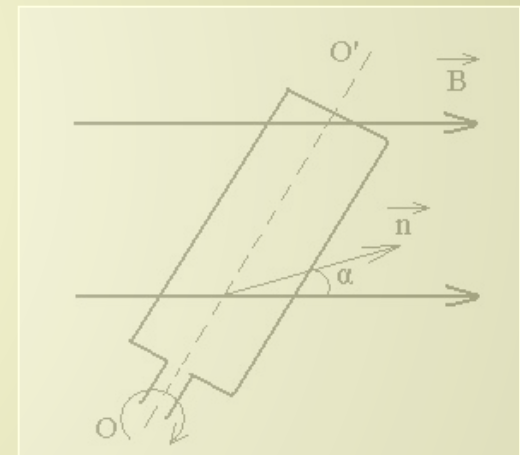
*$\omega$  – циклическая частота переменной ЭДС*

*Магнитный поток  $\Phi$  сквозь*

*плоскость рамки:  $\Phi = BS \cos \alpha$*

*$\alpha$  – угол между нормалью  $\vec{n}$  к плоскости рамки и напряжением*

*вектора магнитной индукции  $\vec{B}$*



*По закону электромагнитной индукции:*

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  – скорость изменения магнитной индукции

$$e = BS \omega \sin \omega t = E_m \sin \omega t$$

*Амплитуда ЭДС индукции*