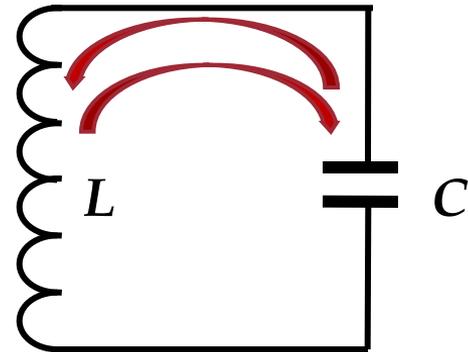


# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ





**Немецкий учёный Гельмгольц Г.Л..  
Занимался проблемами  
электродинамики, создал  
колебательный контур, состоящий  
из катушки индуктивностью  $L$  и  
конденсатора ёмкостью  $C$ .**

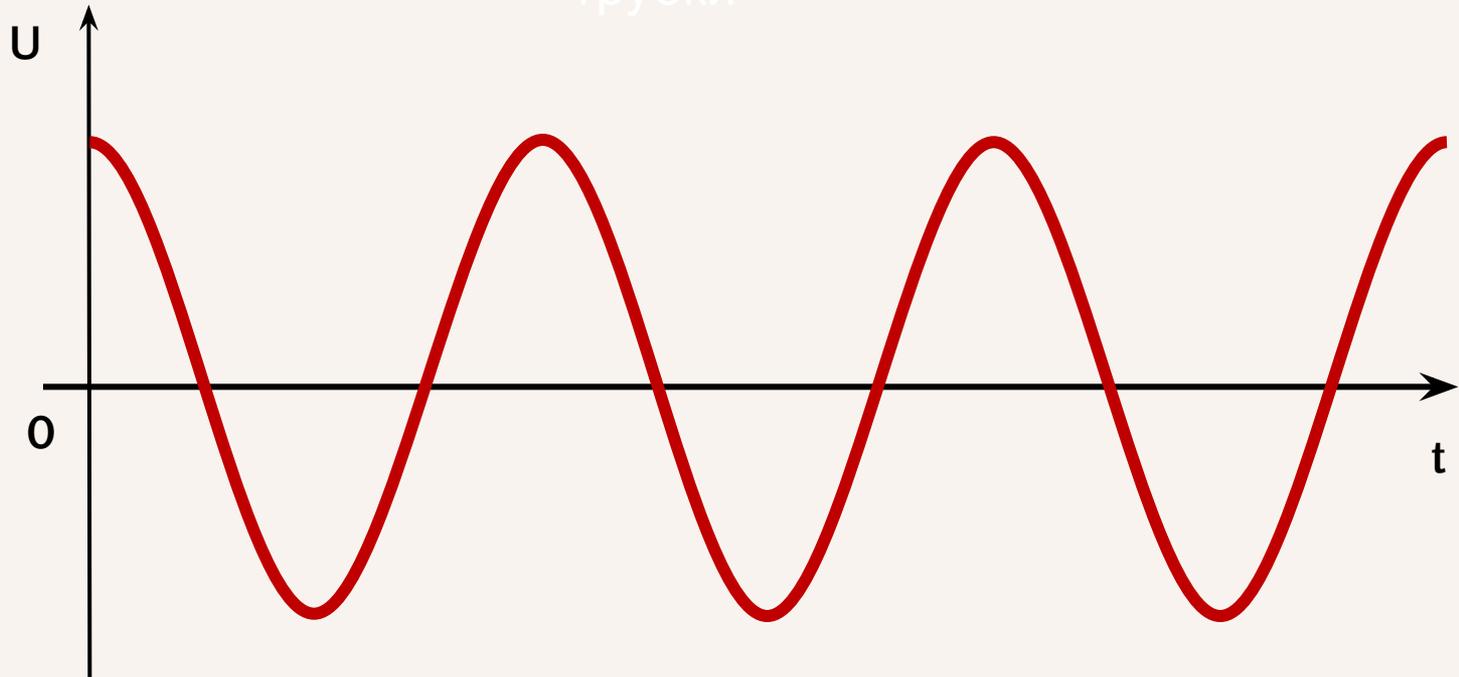
**Гельмгольц Герман Людвиг**

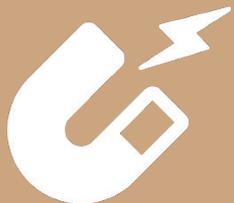
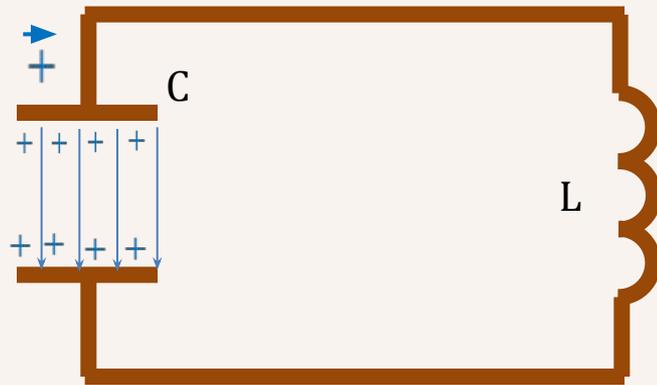
**1821 – 1894 гг.**

**Осциллограф** – прибор, который позволяет обнаружить наличие колебаний.



График напряжения, подаваемого на  
вертикально отклоняющие пластины  
трубки

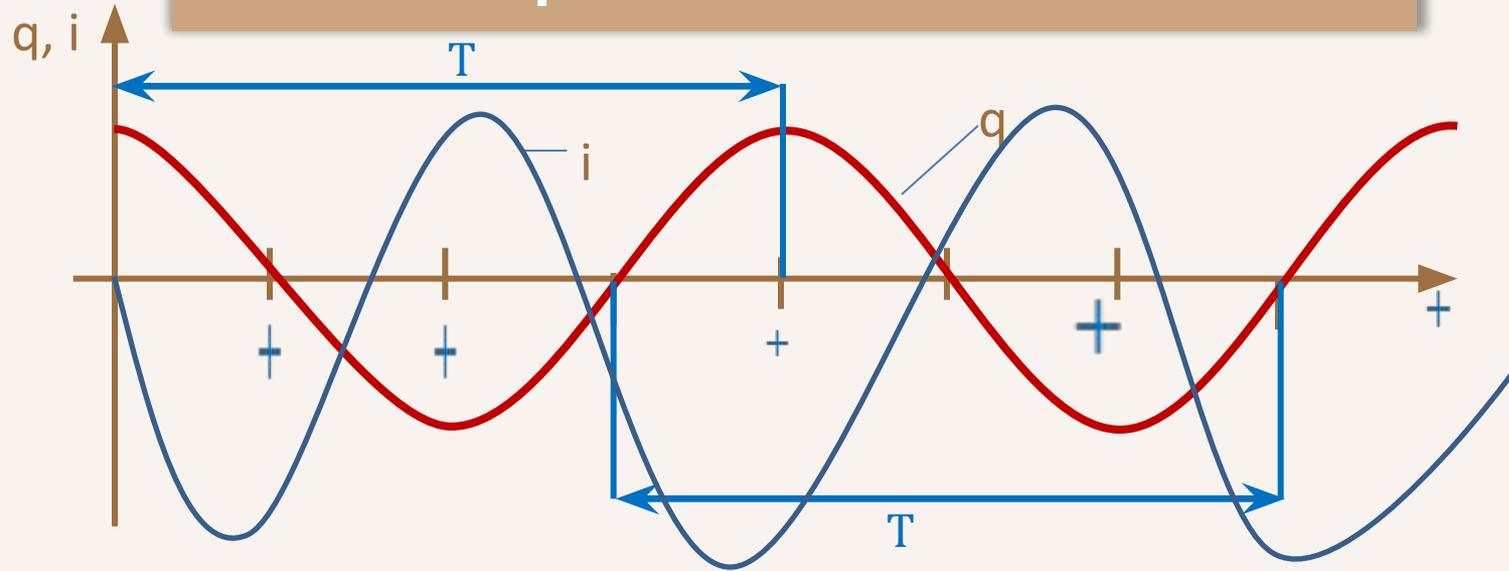




Система, в которой могут осуществляться **свободные электромагнитные колебания**, называется **колебательным контуром**..

Колебательный контур это электрическая цепь, состоящая из конденсатора емкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ .

# Электромагнитные колебания

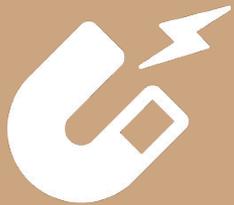
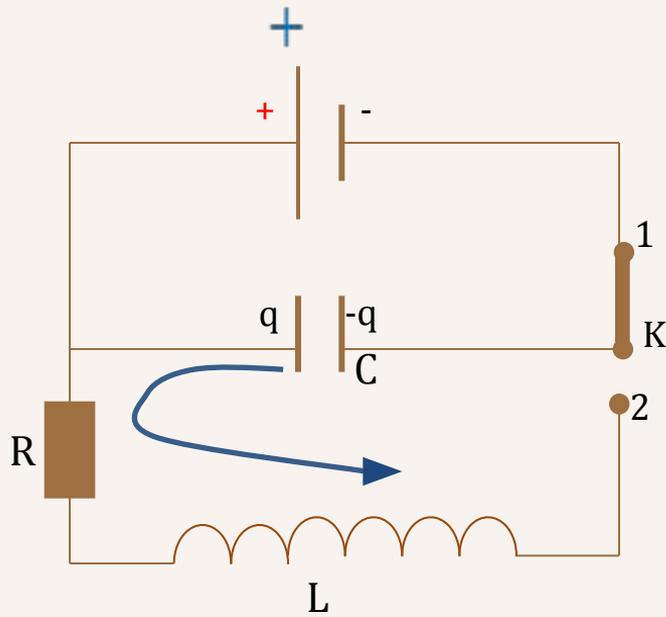


**Электромагнитные колебания** – это периодические изменения со временем электрических и магнитных величин (заряда, силы тока, напряжения, напряжённости, магнитной индукции и др.) в электрической цепи.

# Свободные колебания

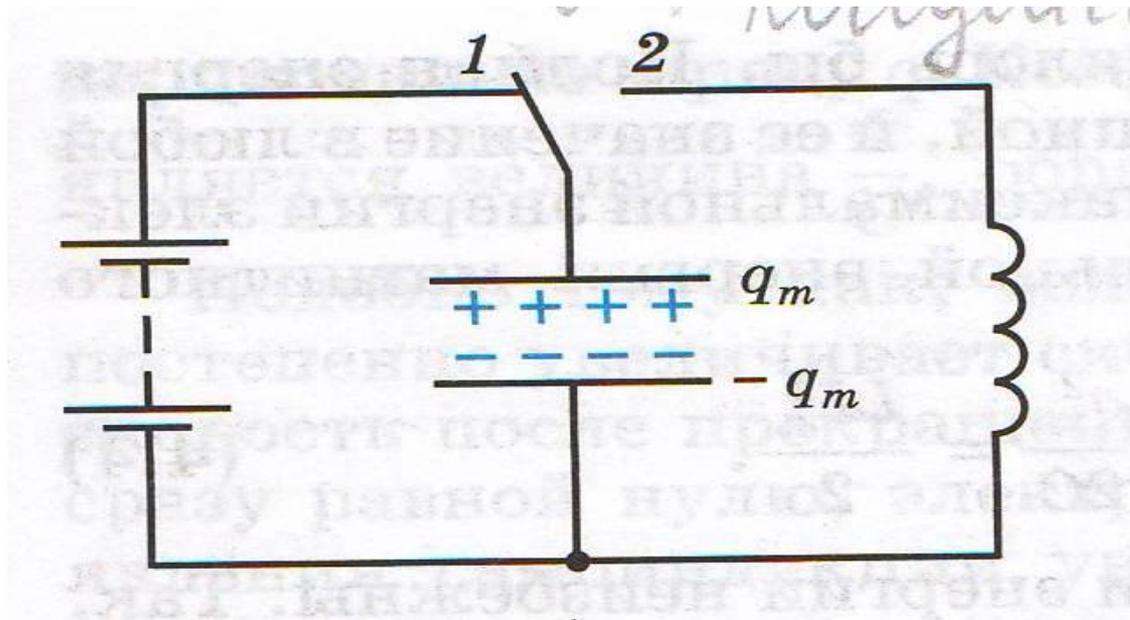


**Свободными колебаниями** называются колебания, которые возникают в системе, выведенной из состояния равновесия, только за счёт внутренних сил.



**Вынужденные электромагнитные колебания** – это колебания, которые возникают в цепи под действием внешней периодической электродвижущей силы.

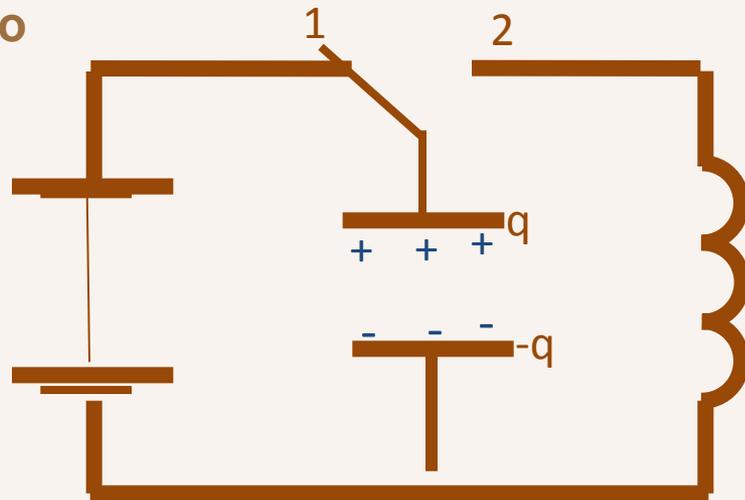
- Колебательная система выводится из равновесия при сообщении конденсатору заряда. При этом конденсатор получает энергию  $W_{\text{э}}$ .





– энергия электрического  
поля конденсатора

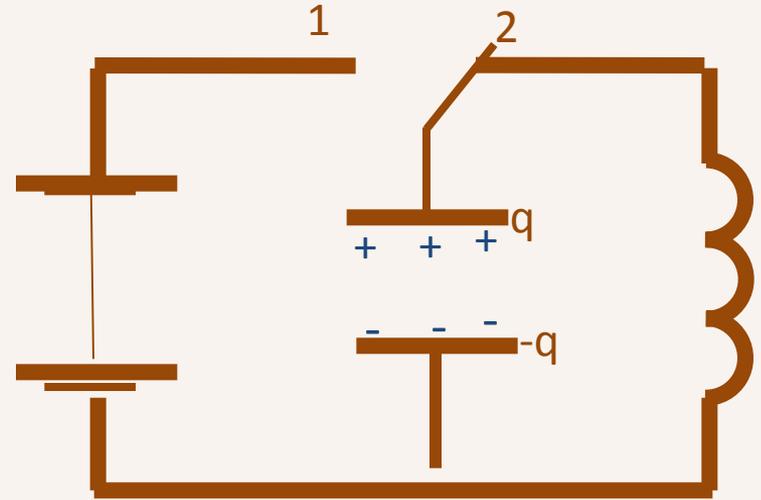
где  $q$  – заряд конденсатора;  
 $C$  – его электроёмкость.





– энергия магнитного поля  
катушки

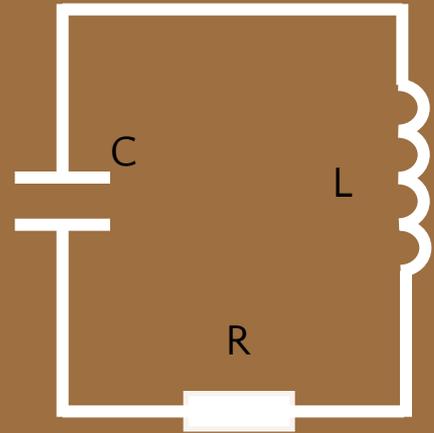
где  $I$  – сила переменного тока;  
 $L$  – индуктивность катушки.



## Полная энергия электромагнитного Поля в колебательном контуре



В момент, когда конденсатор полностью разрядится, энергия электрического поля станет равной нулю. Энергия же магнитного поля тока, согласно закону сохранения энергии, будет максимальной. В этот момент сила тока также достигнет максимального значения.



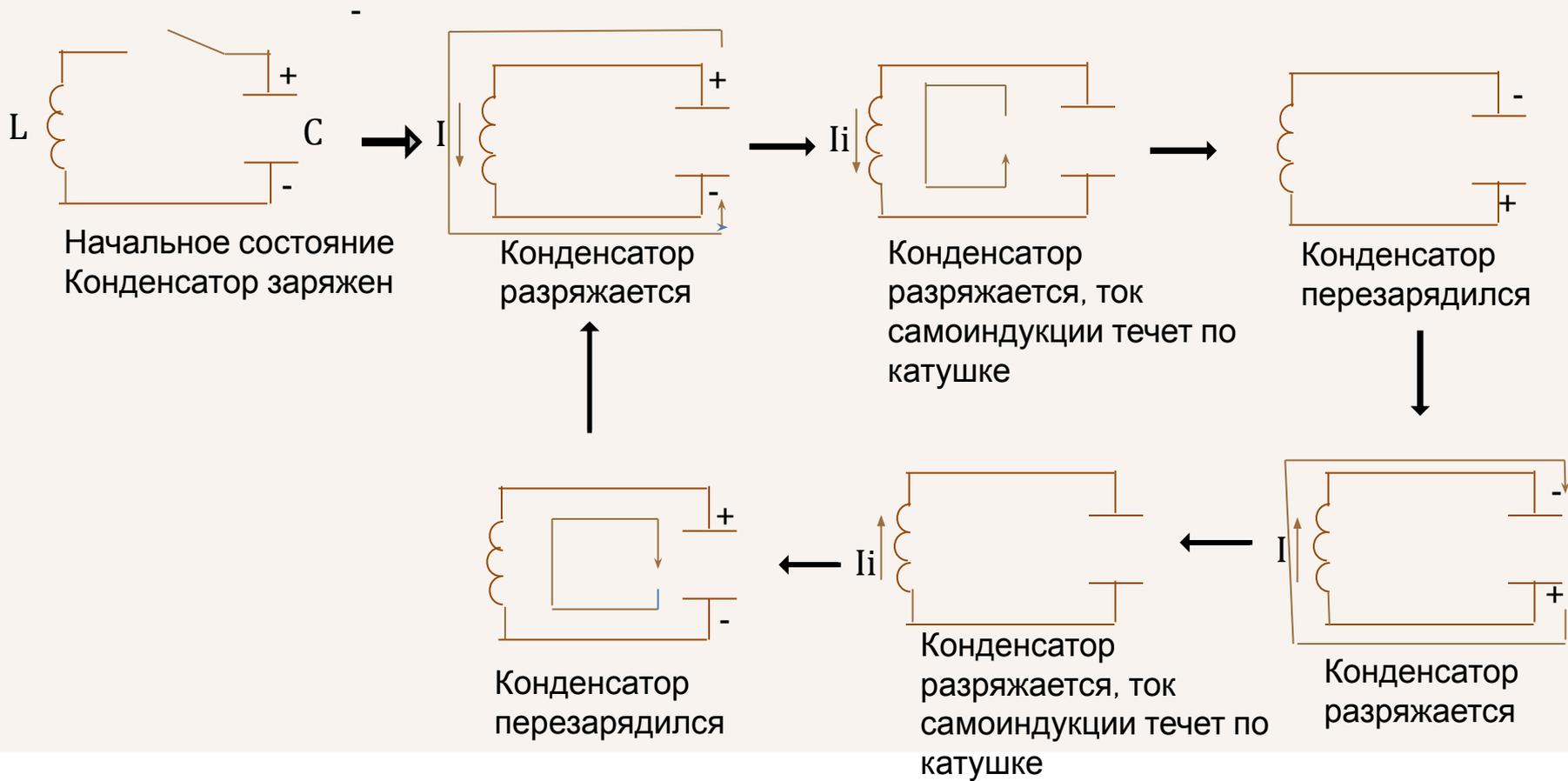
В колебательном контуре энергия электрического поля заряженного конденсатора периодически превращается в энергию магнитного поля тока.



# Превращение энергии в колебательном контуре

# Конденсато

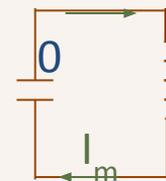
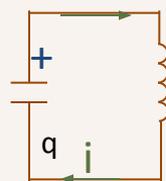
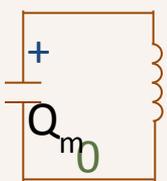
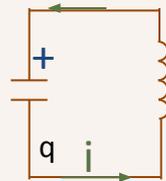
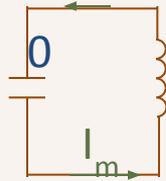
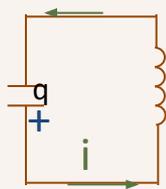
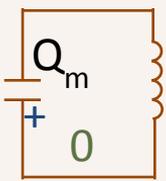
$\rho$



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

- 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).
- В этот момент сила тока в цепи становится максимальной. А раз в цепи есть ток, то конденсатор начинает опять заряжаться.
- Здесь же следует отметить, что сила тока в цепи поддерживается ЭДС самоиндукции и без источника тока.

- После зарядки конденсатор опять начинает разряжаться и все происходит сначала.
- Если бы не было потерь энергии, то колебания в колебательном контуре были бы незатухающими.
- **В колебательном контуре энергия электрического поля заряженного конденсатора периодически переходит в энергию магнитного поля тока.**



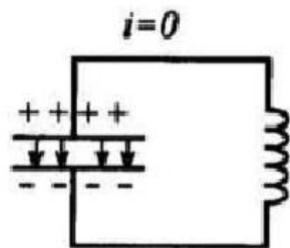
	1	2	3	4	5	6	7
q	$Q_m$	$q_2$	0	$q_4$	$Q_m$	$q_6$	0
U	$U_m$	$u_2$	0	$u_4$	$U_m$	$u_6$	0
i	0	$I_2$	$I_m$	$i_4$	$U_m$	$i_6$	$I_m$
$W_e$	$W_{e \max}$	$W_{e2}$	0	$W_{e4}$	$W_{e \max}$	$W_{e6}$	0
$W_m$	0	$W_{m2}$	$W_{m \max}$	$W_{m \max}$	0	$W_{m6}$	$W_{m \max}$
W	$W_{e \max}$	$W_{e2} + W_{m2}$	$W_{m \max}$	$W_{e4} + W_{m4}$	$W_{e \max}$	$W_{e6} + W_{m6}$	$W_{m \max}$

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

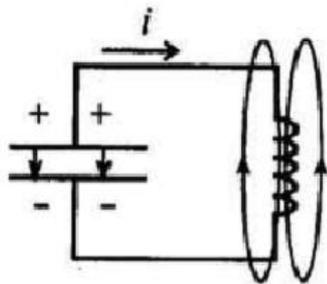
Свободные электромагнитные колебания происходят в колебательном контуре.

Период  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  (формула Томсона)

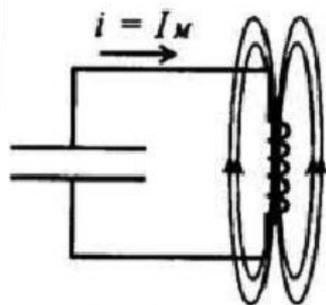
При замыкании обкладок заряженного конденсатора через катушку в цепи возникает ток.



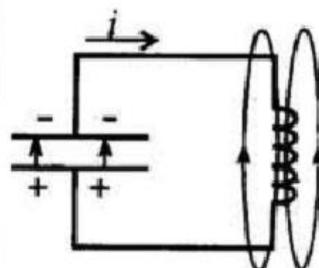
Вследствие явления самоиндукции сила тока нарастает постепенно.



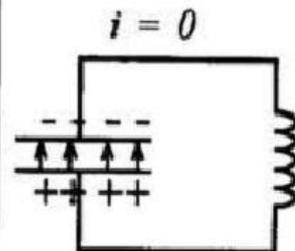
К моменту полной разрядки конденсатора сила тока достигает максимальной величины.



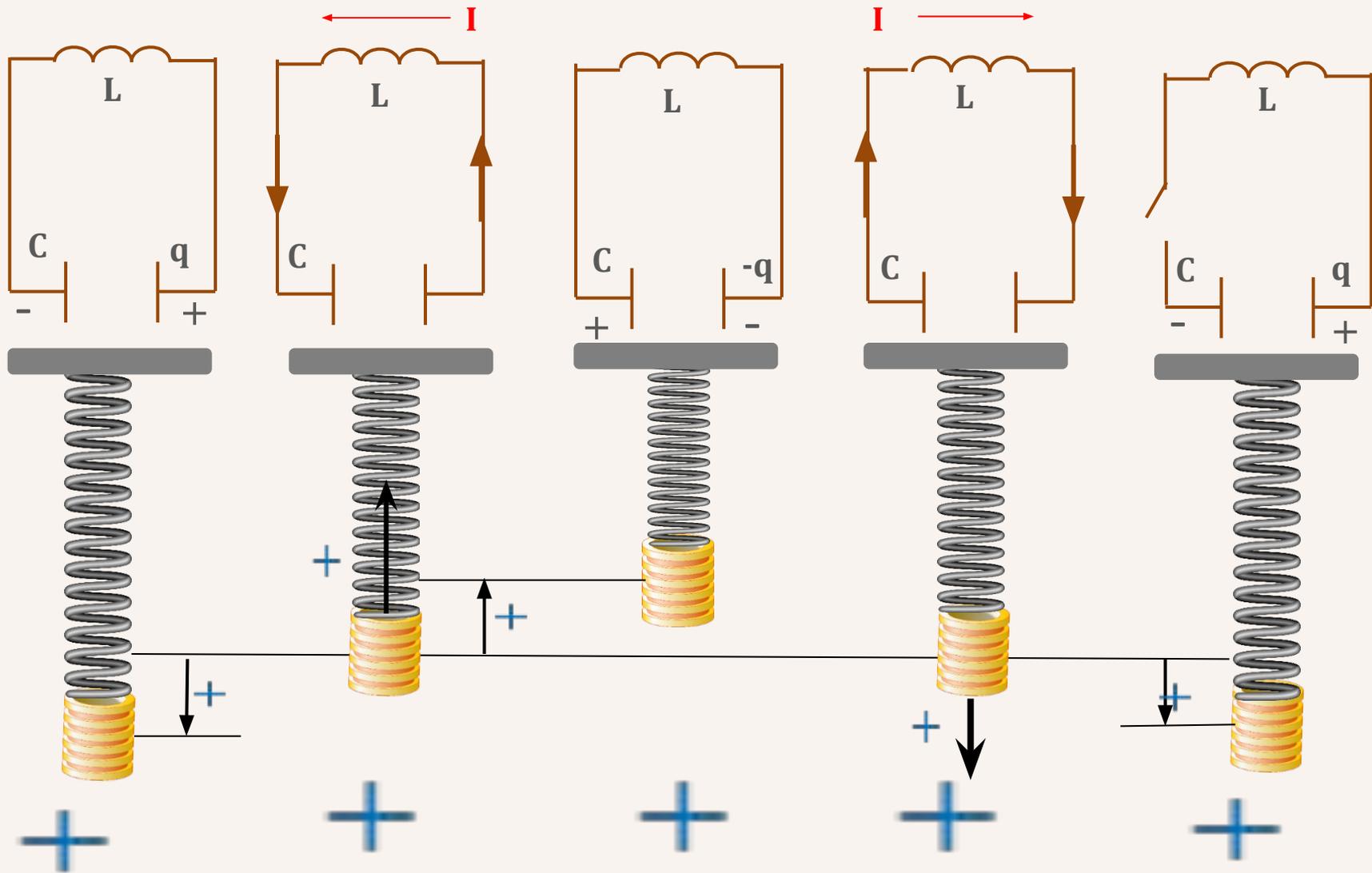
После этого сила тока начинает постепенно убывать, однако ток продолжает идти в ту же сторону, перезаряжая конденсатор.

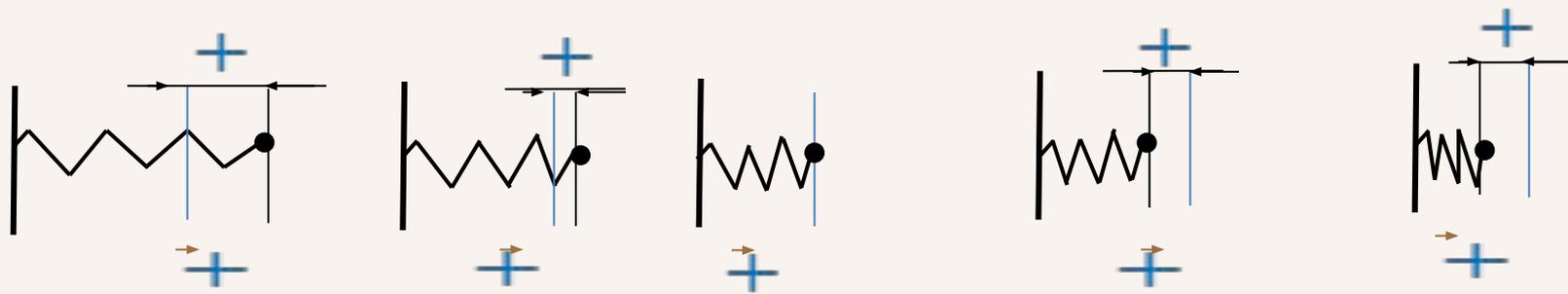
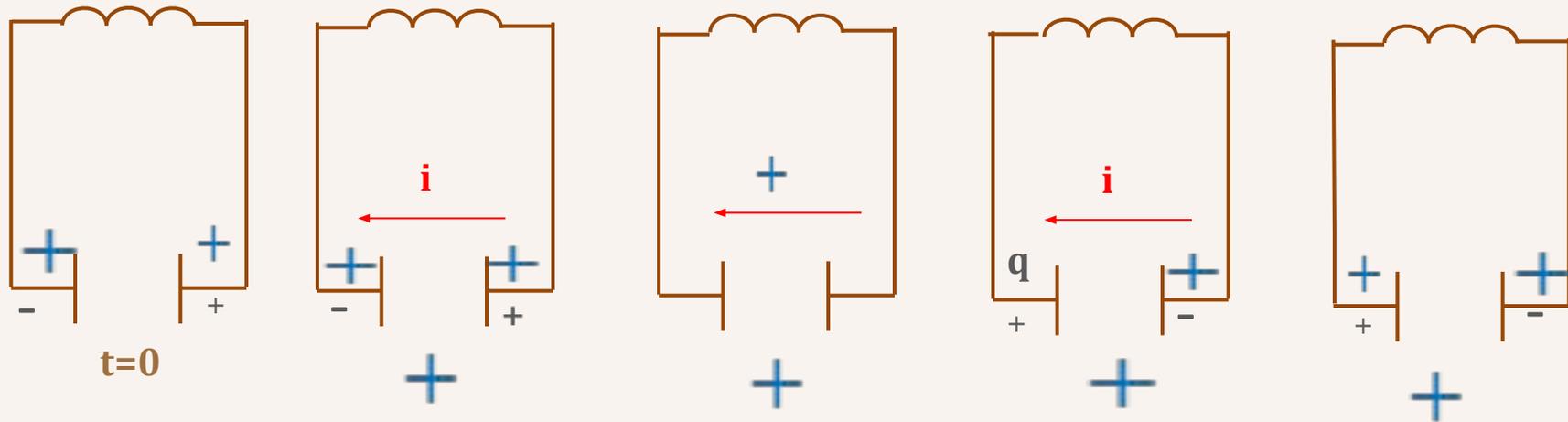


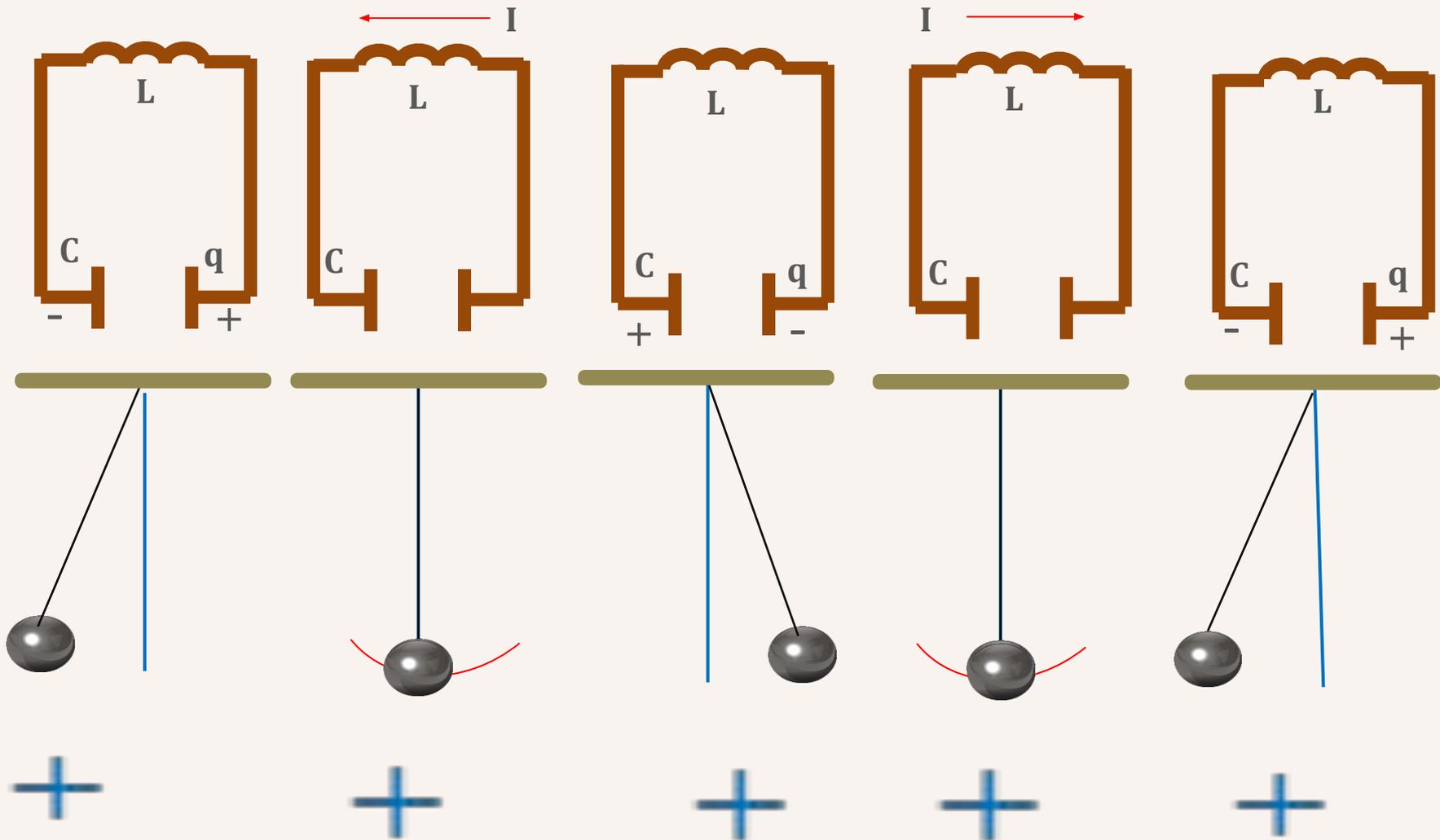
Состояние колебательного контура через половину периода.



- Аналогия электромагнитных колебаний в колебательном контуре с механическими колебаниями пружинного маятника и математического маятника







## Сравнительная таблица механических и электромагнитных колебаний

	Механические колебания	Электромагнитные колебания
Параметры колебательной системы	Масса груза <b>m</b> Жёсткость пружины <b>k</b>	Индуктивность катушки <b>L</b> Величина, обратная ёмкости $\frac{1}{C}$
Энергия	Кинетическая энергия груза $E_k = \frac{mv^2}{2}$  Потенциальная энергия пружины $E_{\pi} = \frac{kx^2}{2}$	Энергия магнитного поля катушки $W_m = \frac{LI^2}{2}$  Энергия электрического поля конденсатора $W_e = \frac{1}{LC}$
Циклическая частота	$\omega^2 = \frac{k}{m}$	$\omega^2 = \frac{1}{LC}$
Величина, характеризующая отклонение	Координата $x = x_0 \cos \omega t$	Заряд $q = q_0 \cos \omega t$
Величины, характеризующие скорость изменения состояния колебательной системы	$v = v_0 \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$  $a = a_0 \cos \left( \omega t + \pi \right)$	$I = I_0 \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$  $q = q_0 \cos \left( \omega t + \pi \right)$

Электрические величины		Механические величины	
Заряд конденсатора	$q(t)$	Координата	$x(t)$
Ток в цепи	$I = \frac{dq}{dt}$	Скорость	$v = \frac{dx}{dt}$
Индуктивность	$L$	Масса	$m$
Величина, обратная электроёмкости	$\frac{1}{C}$	Жёсткость	$k$
Напряжение на конденсаторе	$+$	Упругая сила	$kx$
Энергия электрического поля конденсатора	$\frac{q^2}{2C}$	Потенциальная энергия пружины	$\frac{kx^2}{2}$
Магнитная энергия катушки	$\frac{LI^2}{2}$	Кинетическая энергия	$\frac{mv^2}{2}$
Магнитный поток	$LI$	Импульс	$mv$

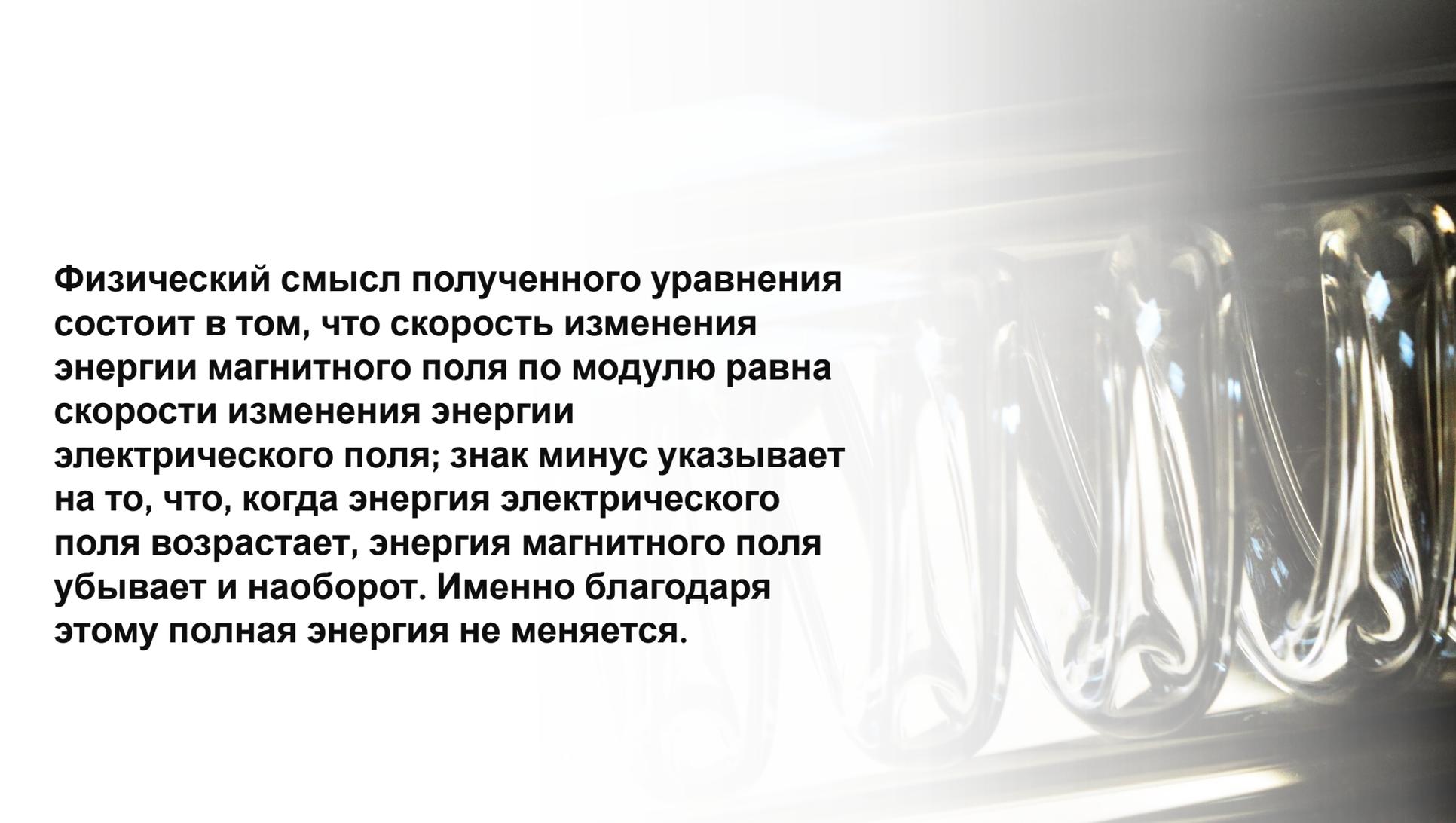
# Уравнение, описывающее свободные электрические колебания в

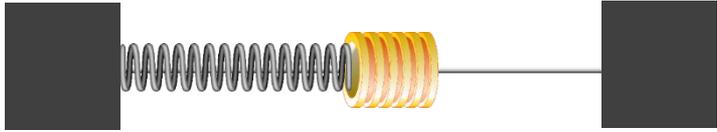


# Уравнение, описывающее свободные

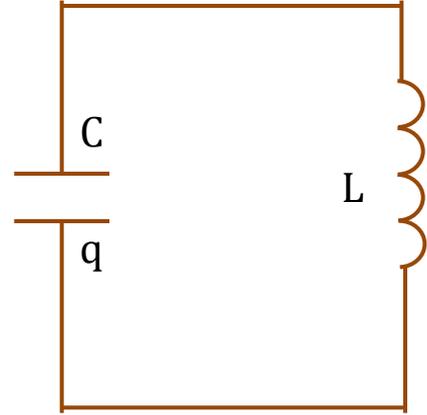


**Физический смысл полученного уравнения состоит в том, что скорость изменения энергии магнитного поля по модулю равна скорости изменения энергии электрического поля; знак минус указывает на то, что, когда энергия электрического поля возрастает, энергия магнитного поля убывает и наоборот. Именно благодаря этому полная энергия не меняется.**





+



+



– циклическая частота  
пружинного маятника



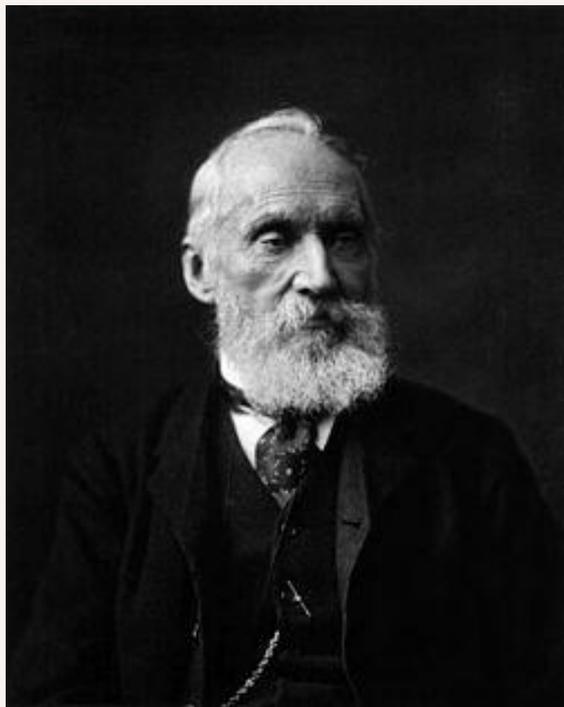
– циклическая частота свободных  
электрических колебаний

Период колебаний груза на пружине:



Период свободных колебаний в  
электромагнитном контуре:





**У. Томсон (Кельвин)**

**1824 - 1907 гг.**

**Формула Томсона:**



# Уравнение изменения координаты со временем



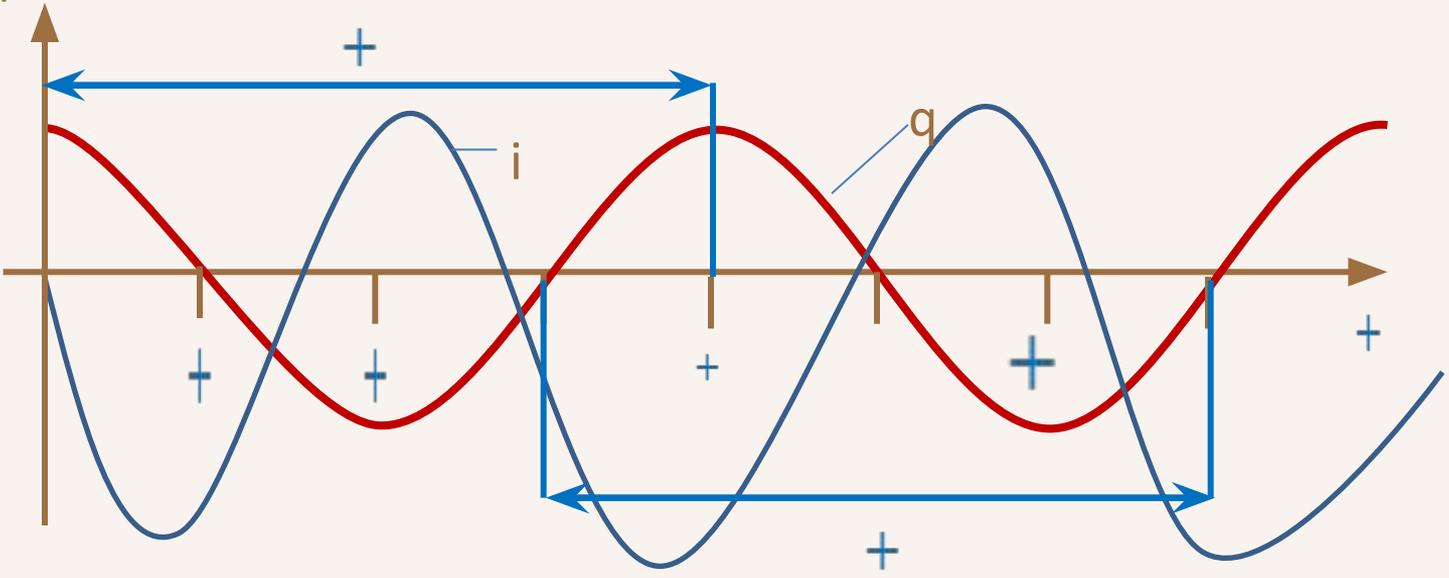
# Уравнение изменения заряда конденсатора со временем



Сила тока совершает гармонические колебания



q, i



Задача. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и конденсатора. Индуктивность катушки уменьшили от 32 мГн до 4 мГн. Как и во сколько раз изменится в результате этого период электромагнитных колебаний в контуре?

Дано

:



Решени

е:



ОТВЕТ: в 4 раза увеличится период колебаний, соответственно в 4 раза уменьшится частота колебаний .



Дано

:



Решени

е:



**Найти:** Какую информацию о колебаниях заряда в контуре можно получить из этого уравнения?