

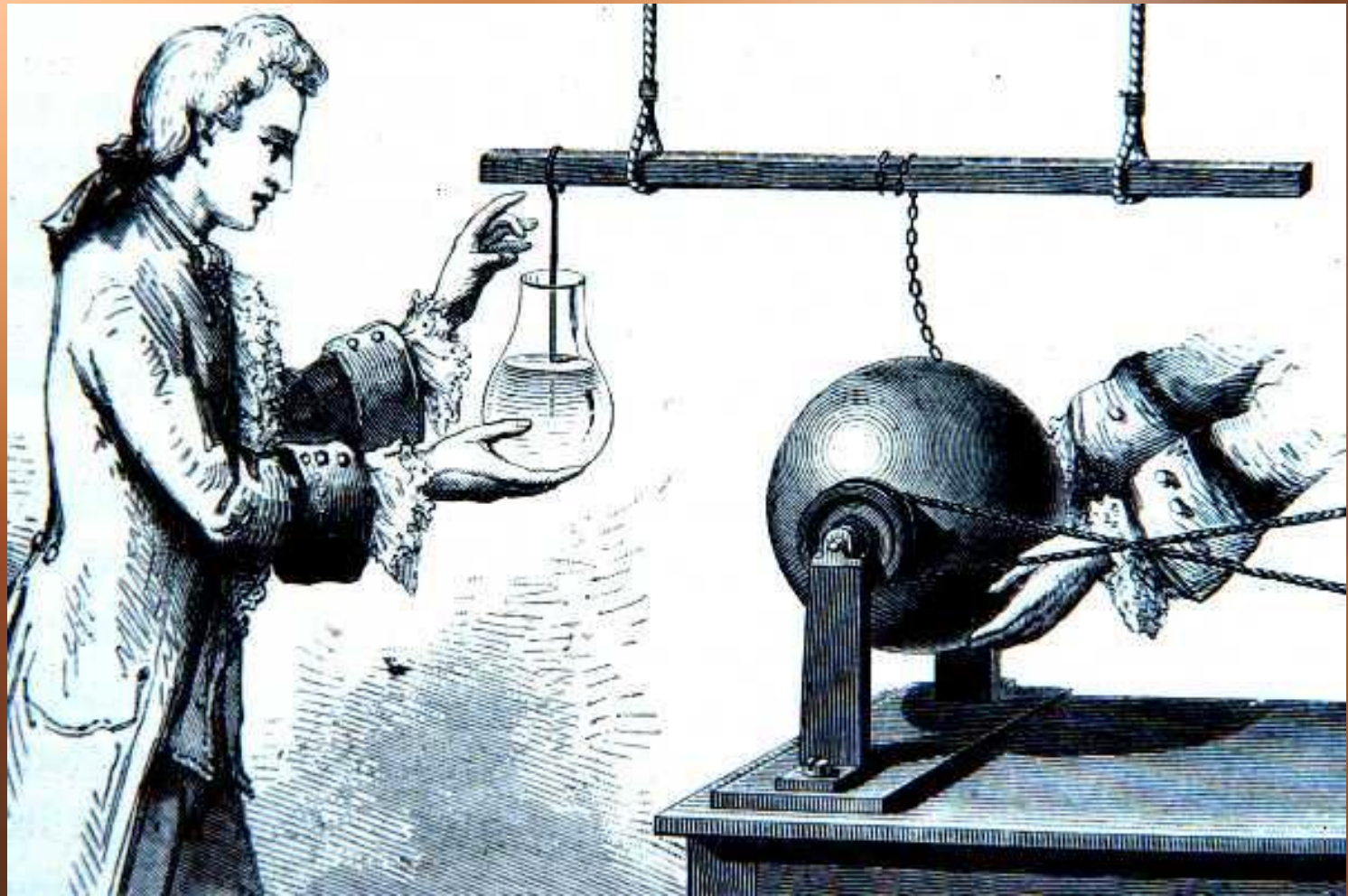
ФИЗИКА

11 КЛАСС



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ
КОЛЕБАНИЯ



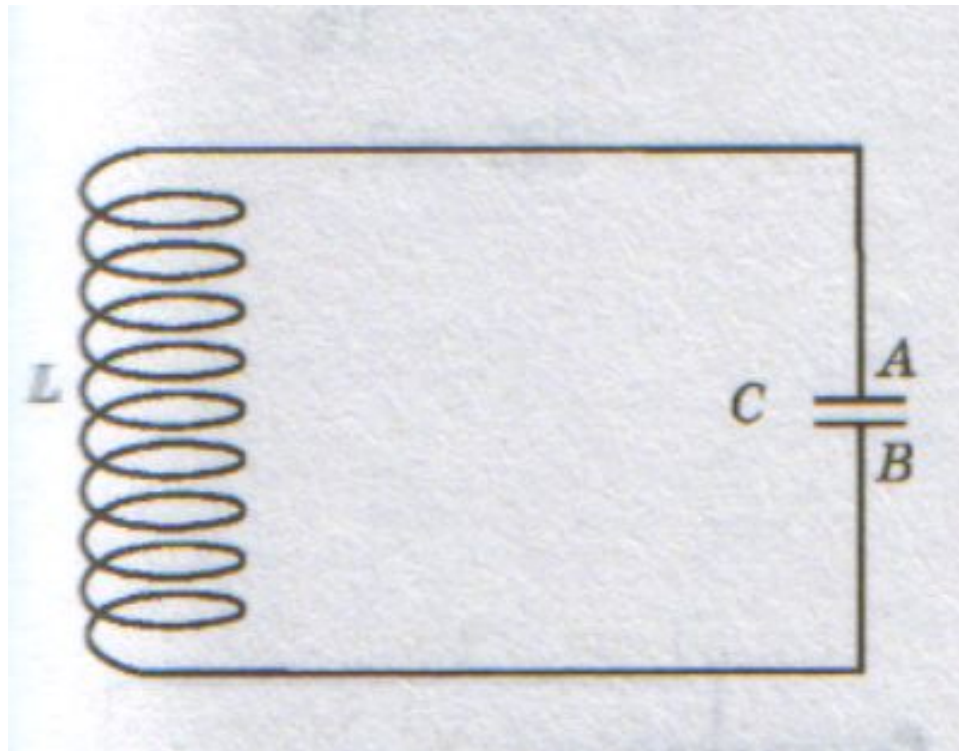


ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ –
ПЕРИОДИЧЕСКИЕ
ИЛИ ПОЧТИ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ
ИЗМЕНЕНИЯ ЗАРЯДА, СИЛЫ ТОКА
ИЛИ НАПРЯЖЕНИЯ.

ПРОСТЕЙШАЯ СИСТЕМА, В КОТОРОЙ
МОГУТ ПРОИСХОДИТЬ СВОБОДНЫЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ --

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

КАТУШКА



КОНДЕНСАТОР

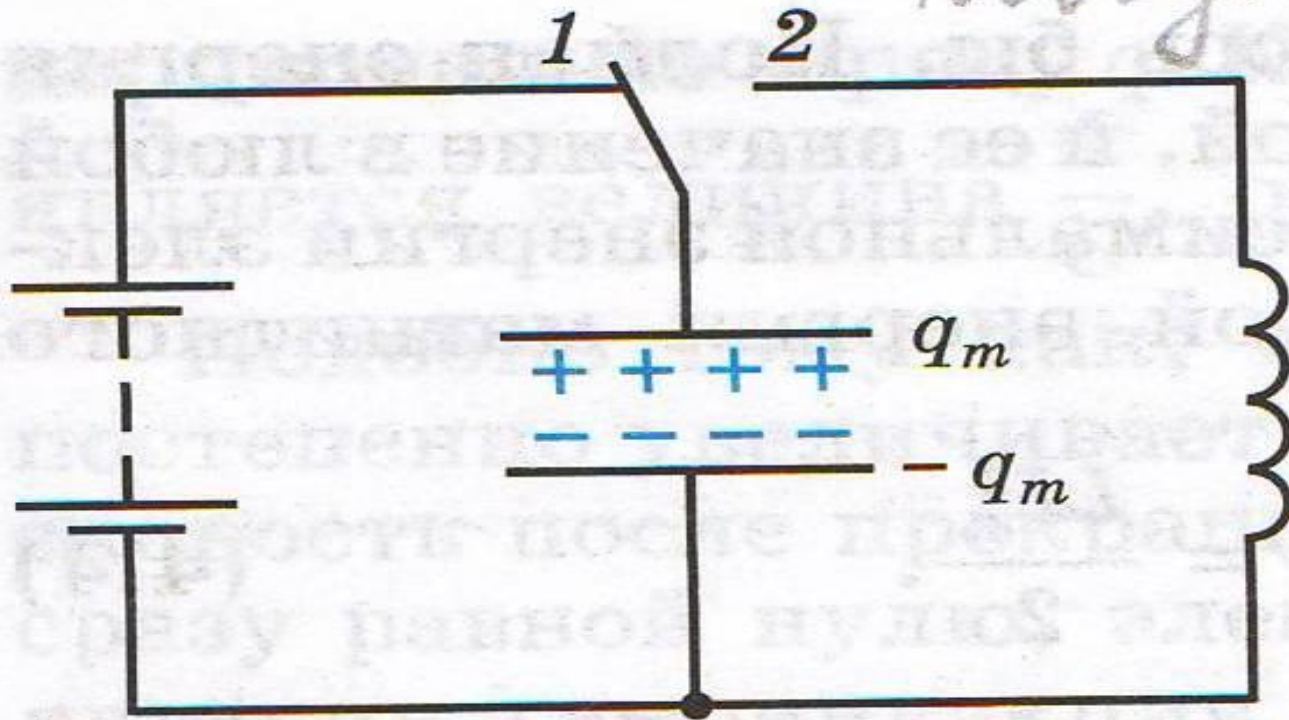
ВИДЫ КОНДЕНСАТОРОВ

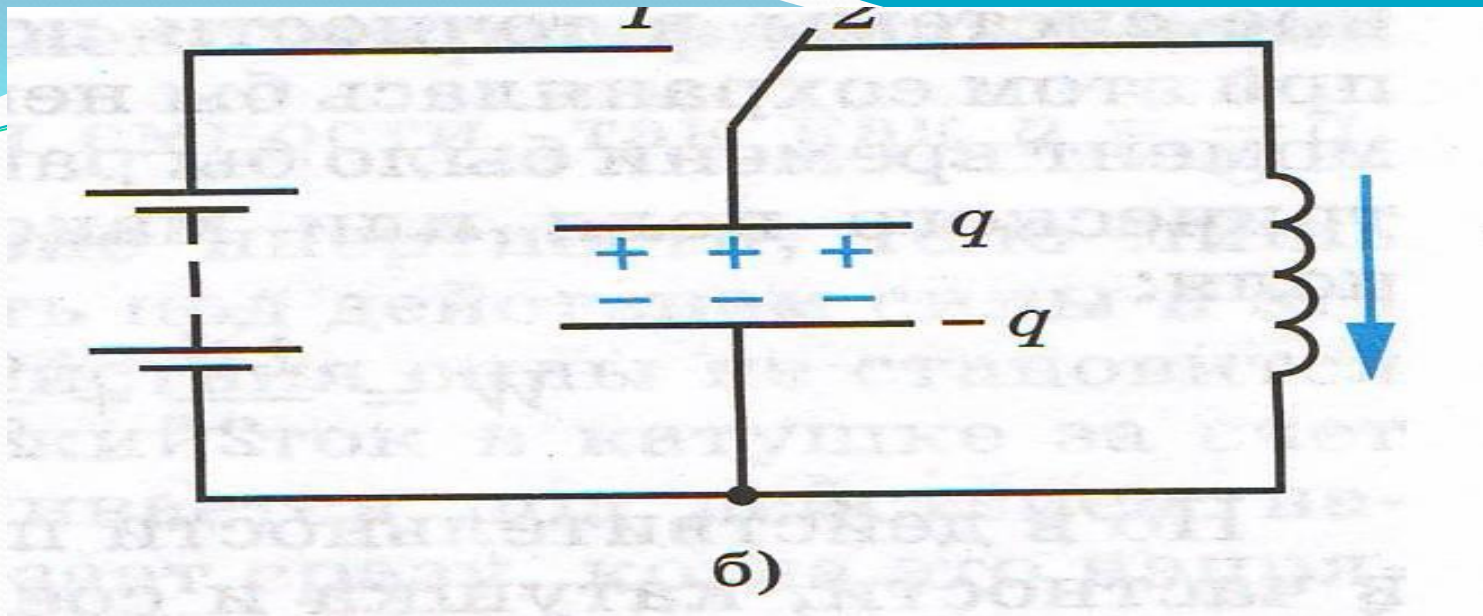


НАЗНАЧЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

- 1. Накапливать на короткое время заряд или энергию для быстрого изменения потенциала.**
- 2. Не пропускать постоянный ток.**
- 3. В радиотехнике: колебательный контур, выпрямитель.**
- 4. Фотовспышка.**

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





- Затем замыкаем вторую часть цепи и конденсатор начинает разряжаться. В цепи появляется электрический ток, сила которого увеличивается постепенно в связи с явлением самоиндукции. ЭДС самоиндукции всегда возникает при появлении тока в цепи и препятствует его увеличению.

Рассмотрим принцип работы закрытого колебательного контура

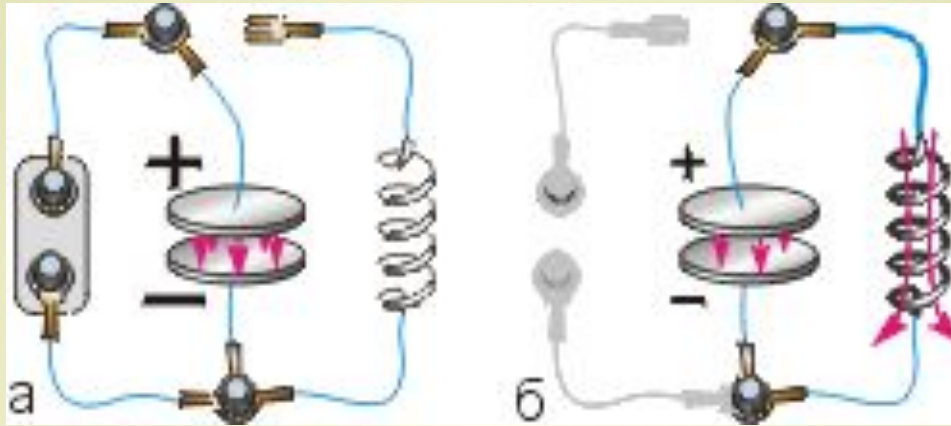


Рис. А

**Конденсатор получает
энергию от источника
постоянного тока.
пластины заряжаются.**

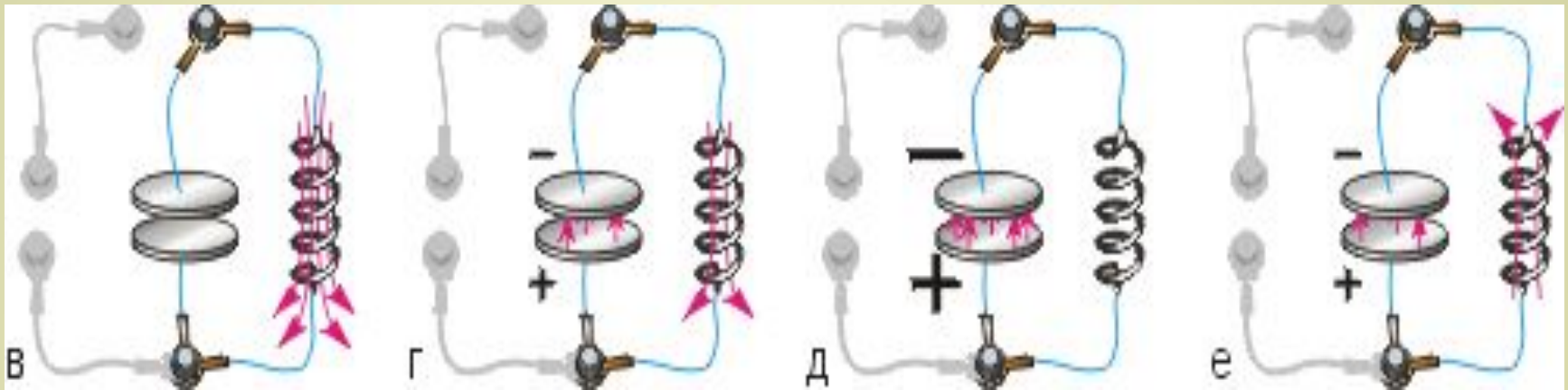
Как?



Рис. Б

**Избыток электронов
устремится через
катушку
к верхней пластине,
возникает нарастающий
электрический ток.
Чем станет катушка
и что будет создавать?**

ПОЧЕМУ В КОНТУРЕ МОГУТ СУЩЕСТВОВАТЬ КОЛЕБАНИЯ?

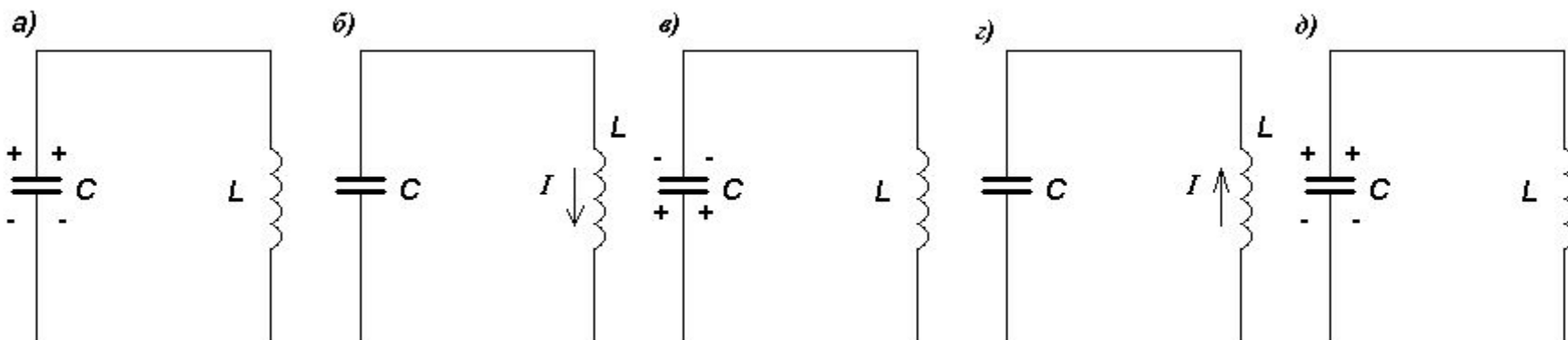


$$W_{\text{маг}} = \frac{L I_m^2}{2}$$

$$W_{\text{эл}} = \frac{q_m^2}{2C}$$

Незатухающие колебания

Если нет сопротивления, то электрические колебания в колебательном контуре будут незатухающими



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

$$б) \quad W_m = \frac{LI_m^2}{2}$$

$$в) \quad W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$

$$г) \quad W_m = \frac{LI_m^2}{2}$$

$$д) \quad W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$



Полная электромагнитная энергия колебательного контура

Максимальная энергия электрического поля

$$\frac{q_m^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

Максимальная энергия магнитного поля

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

Полная энергия

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

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

СВОБОДНЫЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

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

Электронный
осциллограф



Временная развертка колебаний





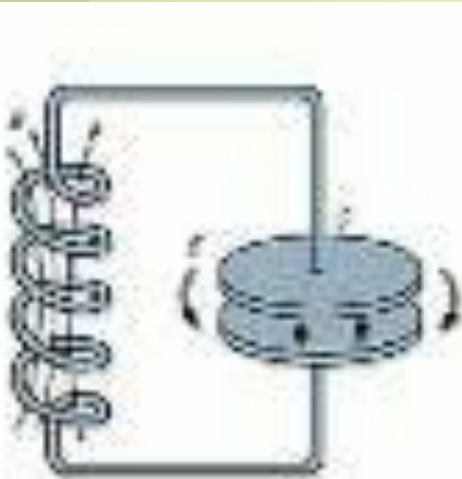
**Колебания являются затухающими.
Почему?**

**Верхняя пластина заряжается
положительно, нижняя –
отрицательно.**

**Катушка станет
электромагнитом и начнет
создавать вокруг себя
магнитное поле**



Так происходит потому, что катушка индуктивности и соединительные провода обладают электрическим сопротивлением. Поэтому согласно закону Джоуля-Ленца, энергия электрического тока будет постепенно превращаться в теплоту. По этой причине свободные колебания в контуре $Q = I^2$ всегда являются затухающими.

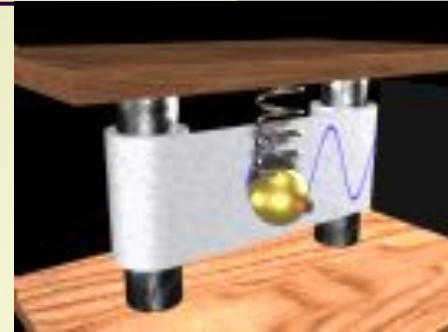


$$Q = I^2 R \Delta t$$

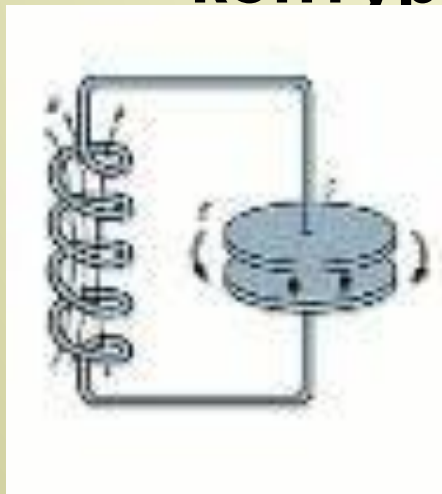
Свободные колебания



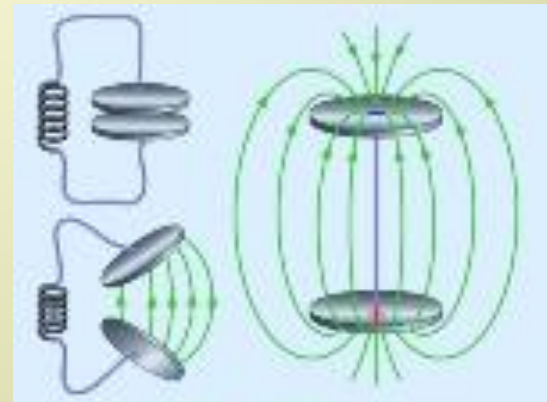
Вынужденные колебания



Закрытый колебательный контур



Открытый колебательный контур

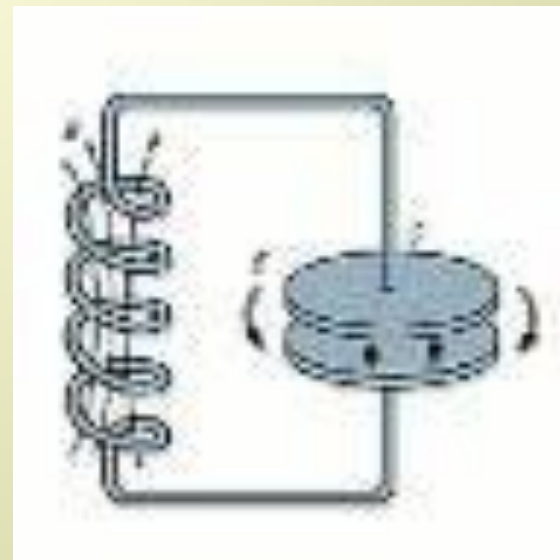
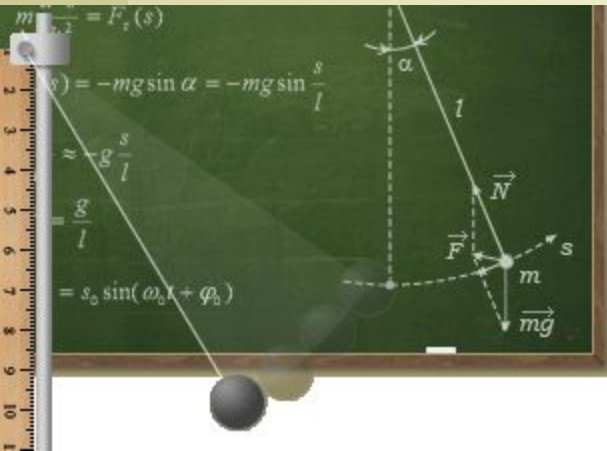


КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

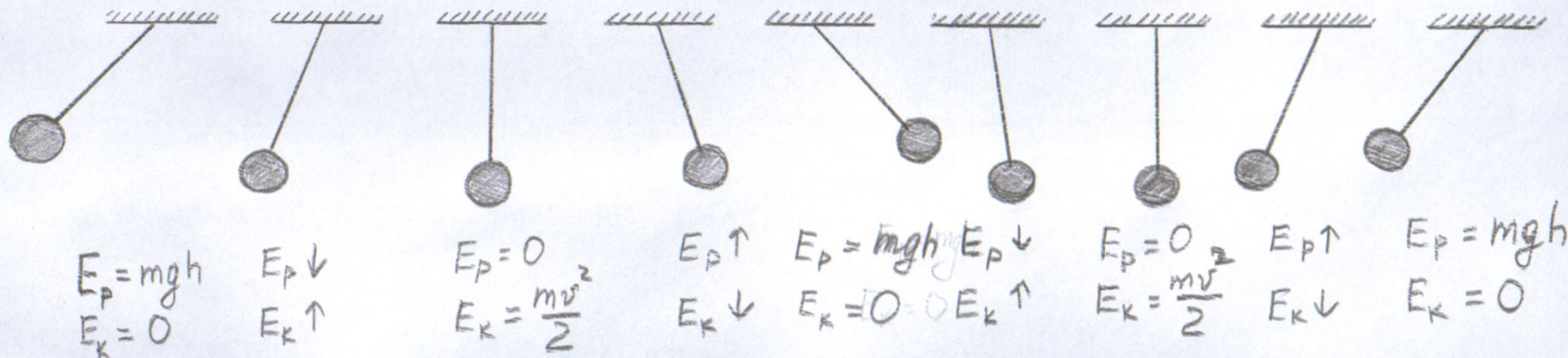
конденсатор

катушка индуктивности

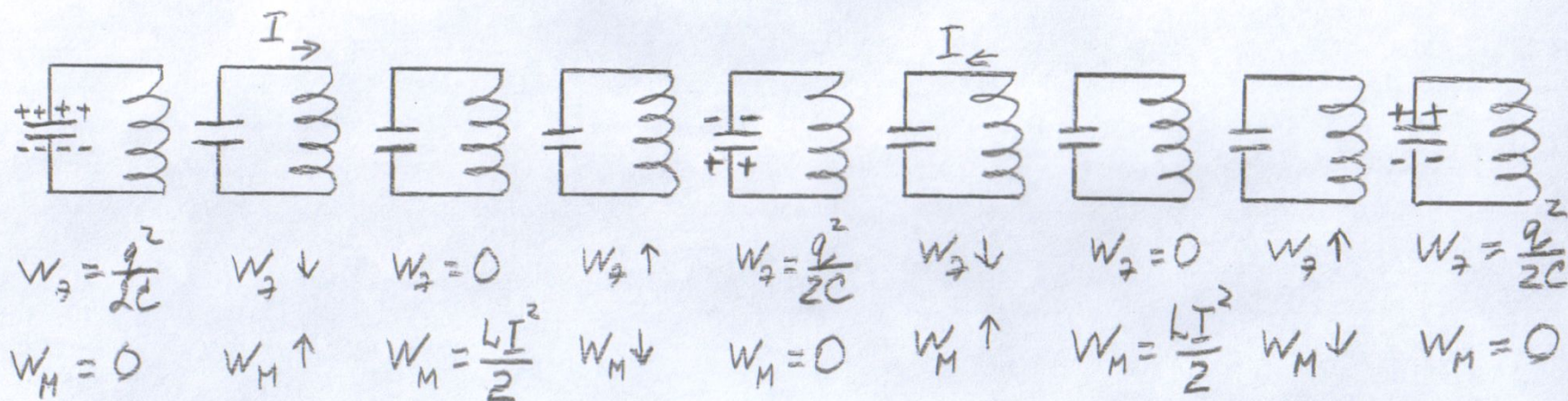
обозначение



МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ



АНАЛОГИЯ



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Взаимное соответствие между механическими и электрическими величинами

Механические величины	Электрические величины
Координата x	Заряд q
Скорость $v_x = x'$	Сила тока $i = q'$
Ускорение $a_x = v'_x$	Скорость изменения силы тока i'
Масса m	Индуктивность L
Жесткость пружины k	Величина, обратная емкости, $\frac{1}{C}$
Коэффициент трения μ	Сопротивление R
Потенциальная энергия $\frac{kx^2}{2}$	Энергия электрического поля $\frac{q^2}{2C}$
Кинетическая энергия $\frac{mv_x^2}{2}$	Энергия магнитного поля $\frac{Li^2}{2}$

Уравнение, описывающее процессы в колебательном контуре

так как полная энергия системы не меняется, то

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

дифференцируем по t

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q^2}{2C}\right)' = 0; \quad \left(\frac{Li^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)'; \quad \text{т.е.}$$

скорость изменения магнитного поля равна скорости изменения электрического поля, взятой с обратным знаком

т.к. $(i^2)' = 2ii'$, а $(q^2)' = 2qq'$, то

$$\frac{L}{2} 2ii' = -\frac{2}{2C} qq';$$

т.к. $q' = i$, то

$$Lii' = -\frac{q i}{C}; \quad \text{но } i = q'', \text{ тогда}$$

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

(сравним $x'' = -\frac{k}{m} x$)

Решение уравнения, описывающего свободные колебания

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

если вторая производная от функции пропорциональна самой функции, взятой с обратным знаком, то это функции синуса или косинуса.

Пусть $q = q_m \cos \sqrt{\frac{1}{LC}} t$, тогда

$$q' = -\sqrt{\frac{1}{LC}} q_m \sin \sqrt{\frac{1}{LC}} t$$

$$q'' = -\sqrt{\frac{1}{LC}} \sqrt{\frac{1}{LC}} q_m \cos \sqrt{\frac{1}{LC}} t$$

т.е. $q'' = -\frac{1}{LC} q$

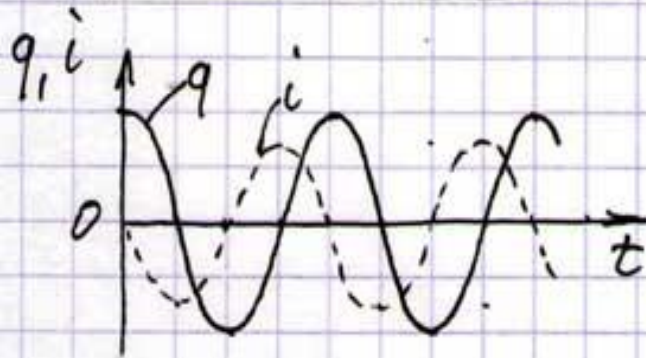
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — характеристика системы

Формула Томсона

определяет период и частоту собственных колебаний контура

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}; \quad \boxed{T = 2\pi \sqrt{LC}}$$

Сдвиг фаз между зарядом и током в колебательном контуре



период и частота
одинаковы

$$q = q_m \cos \omega_0 t$$

$$i = q' = -\omega_0 q_m \sin \omega_0 t$$

или

$$i = I_m \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$$

Колебания силы тока опережают
по фазе колебания заряда на $\frac{\pi}{2}$

Уравнение, описывающее
процессы в колебательном
контуре

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

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

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

Переменный электрический ток

Промышленная частота - $\nu = 50 \text{ Гц}$

$$\Phi = BS \cos \omega t$$

$$e = BS\omega \cos \omega t$$

$$u = U_m \cos \omega t$$

$$i = I_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Переменное напряжение на концах цепи
создается генераторами

ОСЦИЛЛОГРАФ



Нагрузки в цепи переменного тока

$$i = \frac{u}{R} = \frac{u_m \cos \omega t}{R} = I_m \cos \omega t$$

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Ответьте на вопросы

1. Какие колебания называются гармоническими?
2. Что такое электромагнитные колебания?
3. Какой ток называют переменным?
4. Что такое фаза колебаний?
5. Какие величины называются действующими значениями силы тока и напряжения?
6. С какой частотой меняется переменное напряжение в сети с напряжением 220 В?