КУРС ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛЕКЦИЯ 12

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Фарадей М. в 1831 г. экспериментально открыл тот факт, что изменяющееся со временем магнитное поле, пронизывающее проводящий контур, индуцирует в нем электрический ток. Данное явление было названо ***явлением электромагнитной индукции. На основании опытных данных был сформулирован закон электромагнитной индукции:***

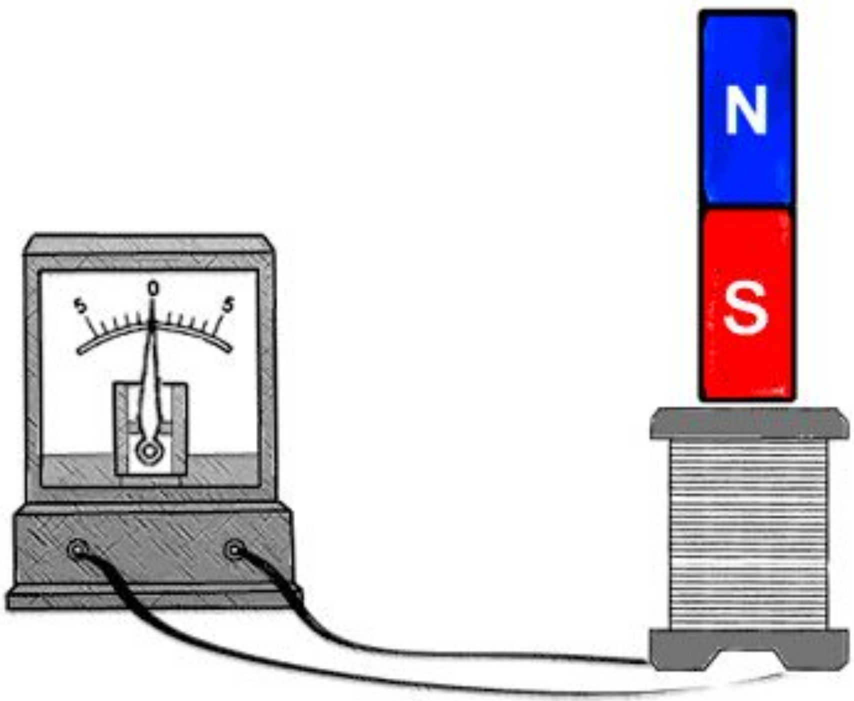
Электродвижущая сила индукции, порожденная изменением магнитного потока через поверхность, которую ограничивает замкнутый контур, пропорциональна скорости изменения магнитного потока взятой с обратным знаком

$$\boldsymbol{\varepsilon}_i = -\frac{d\boldsymbol{\Phi}}{dt}.$$

Знак «–» в данном выражении объясняет ***правило Ленца:***

Индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, его вызвавшей.

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ



Опыт Фарадея

electroandi.ru

ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ

В случае, когда магнитный поток создается током текущим в проводящем контуре, изменения данного тока ***I* приводит к изменению полного магнитного потока и в контуре индуктируется ЭДС. Такое явление называется самоиндукцией, а ЭДС – ЭДС самоиндукции. Если рассматриваемый контур состоит из N витков, то результирующая ЭДС равна сумме ЭДС, индуцируемых в каждом из витков в отдельности, т.е.**

$$\varepsilon_i = -\sum_{i=1}^{N} \frac{d\Phi_i}{dt} = -\frac{d}{dt}\sum_{i=1}^{N} \Phi_i,$$

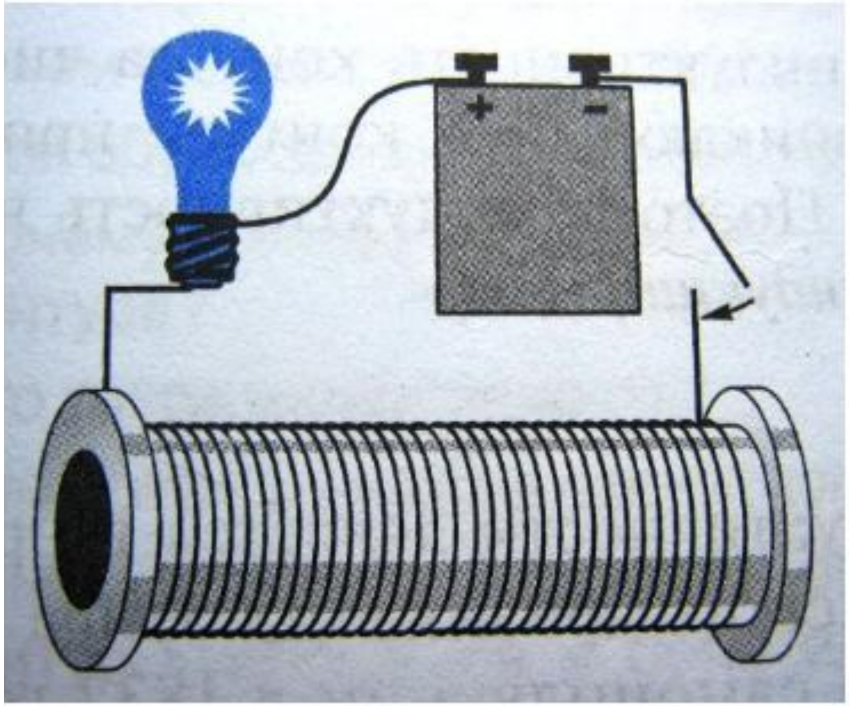
где $\psi = \sum_{i=1}^{N} \Phi_i = N\Phi$ – потокосцепление или полный магнитный поток.

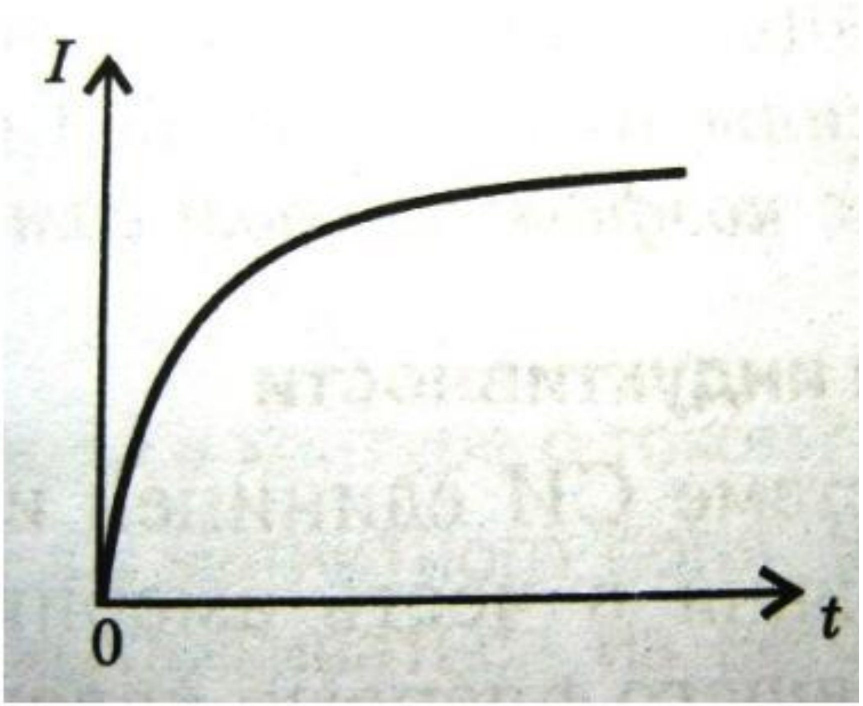
Откуда электромагнитная индукция $\varepsilon_i = -\dfrac{d\psi}{dt}$.

Очевидно, что $\psi \sim I$ с точностью до коэффициента ***L*, который называют индуктивностью контура. Значит**

$$\boxed{\psi = LI}$$

ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ





Единицей индуктивности в СИ является ***Гн – генри. 1 Гн – это индуктивность контура с током 1А, который создает полный магнитный поток через поверхность ограниченную данным контуром величиной 1 Вб.***

ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ

Из понятия потокосцепления следует, что индуктивность длинного соленоида $L = \mu_0 n^2 V$, где ***V – объем соленоида.***

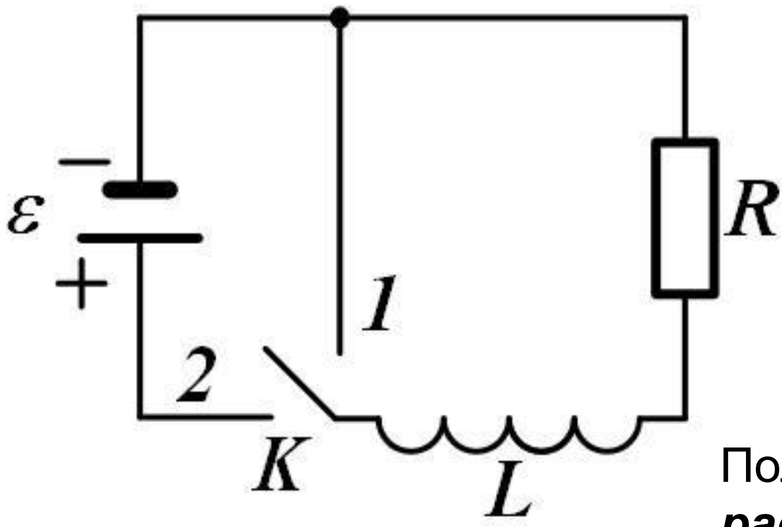
ЭДС самоиндукции записывается выражением

$$\varepsilon_{si} = -\frac{d\psi}{dt} = -\left(L\frac{dI}{dt} + I\frac{dL}{dt} \right)$$

Если выполняется условие, что индуктивность контура не меняется со временем, то

$$\boxed{\varepsilon_{si} = -L\frac{dI}{dt}}$$

ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ



Будем считать, что ключ ***К переводят из 1 в 2.*** При этом ток возрастает согласно экспоненциального закона от ***0 А до I_0. Сила тока в цепи по закону Ома***

$$I = \frac{\varepsilon + \varepsilon_{si}}{R}$$

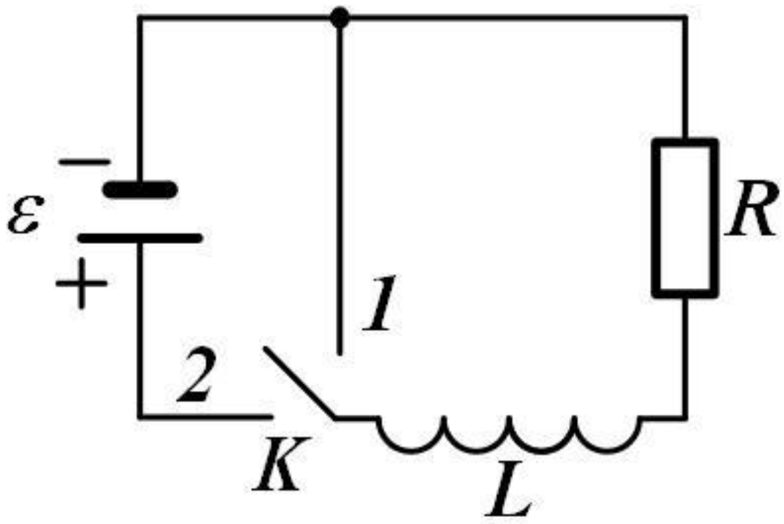
Полная работа источника тока за время ***dt равна***

$$dA = I\varepsilon\, dt = I^2 R\; dt + L I\; dI$$

Второе слагаемое последней суммы определяется индукционными явлениями в цепи. Значит соответствующая данному слагаемому полная работа при увеличении тока в цепи от ***0 А до I_0 равна***

$$A = \int_0^{I_0} L I\; dI = \frac{LI^2}{2}$$

ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ



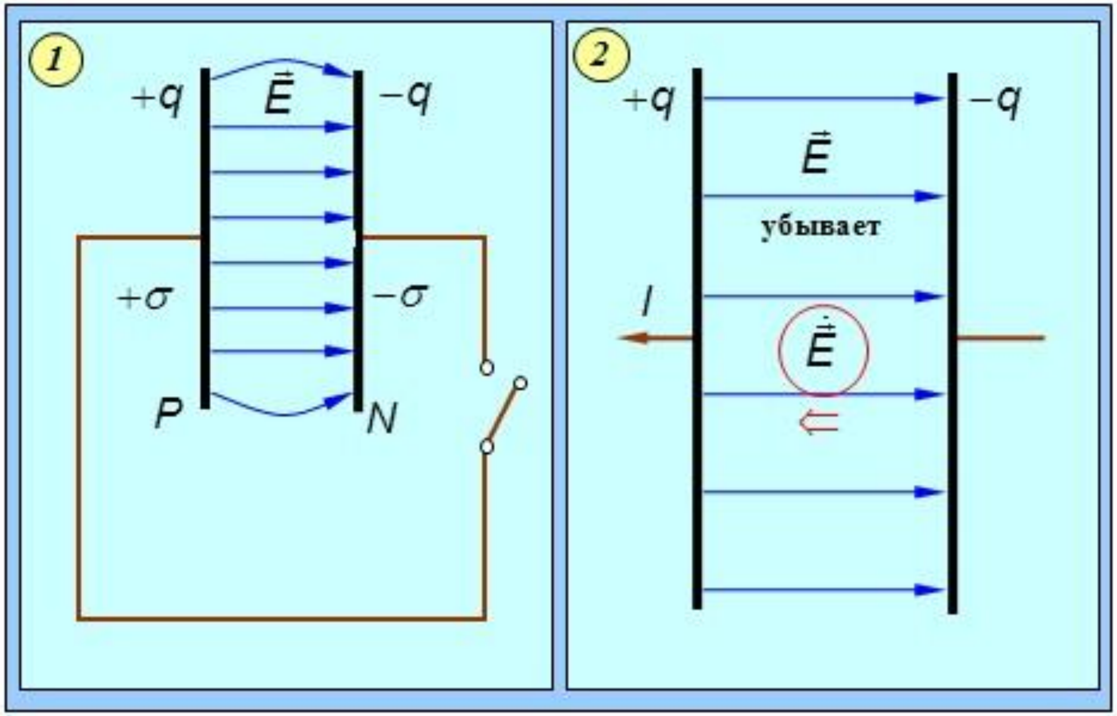
Данная работа источника тока идет на увеличение энергии магнитного поля в контуре, а значит энергия магнитного поля равна

$$\boxed{W = \frac{LI^2}{2}}$$

Учитывая, что магнитное поле длинного соленоида однородно, можно разделить последнее выражение на объем соленоида и получить объемную плотность магнитного поля:

$$\boxed{\varpi = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}}$$

ТОК СМЕЩЕНИЯ



Между обкладками конденсатора линии тока проводимости обрываются и ток как бы «исчезает в никуда» и «появляется из ничего», что противоречит закону сохранения. Поэтому логично предположить, что линии тока проводимости в конденсаторе переходят в линии другого тока. Этот другой ток назвали током смещения, его плотность равна:

$$\boxed{\vec{j}_{см} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}}$$

ТОК СМЕЩЕНИЯ

Таким образом, ток смещения – это переменное электрическое поле. Плотность полного тока тогда должна быть равна:

$$\boxed{\vec{j}_{полный} = \vec{j}_{пр} + \vec{j}_{см}}$$

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ

1 $$\oint_L \vec{E}\,d\vec{l} = \int_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

2 $$\oint_L \vec{H}\,d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j}_{\text{пр}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

3 $$\oint_S \vec{D}\,d\vec{S} = \int_V \rho\,dV$$

4 $$\oint_S \vec{B}\,d\vec{S} = 0$$

УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ

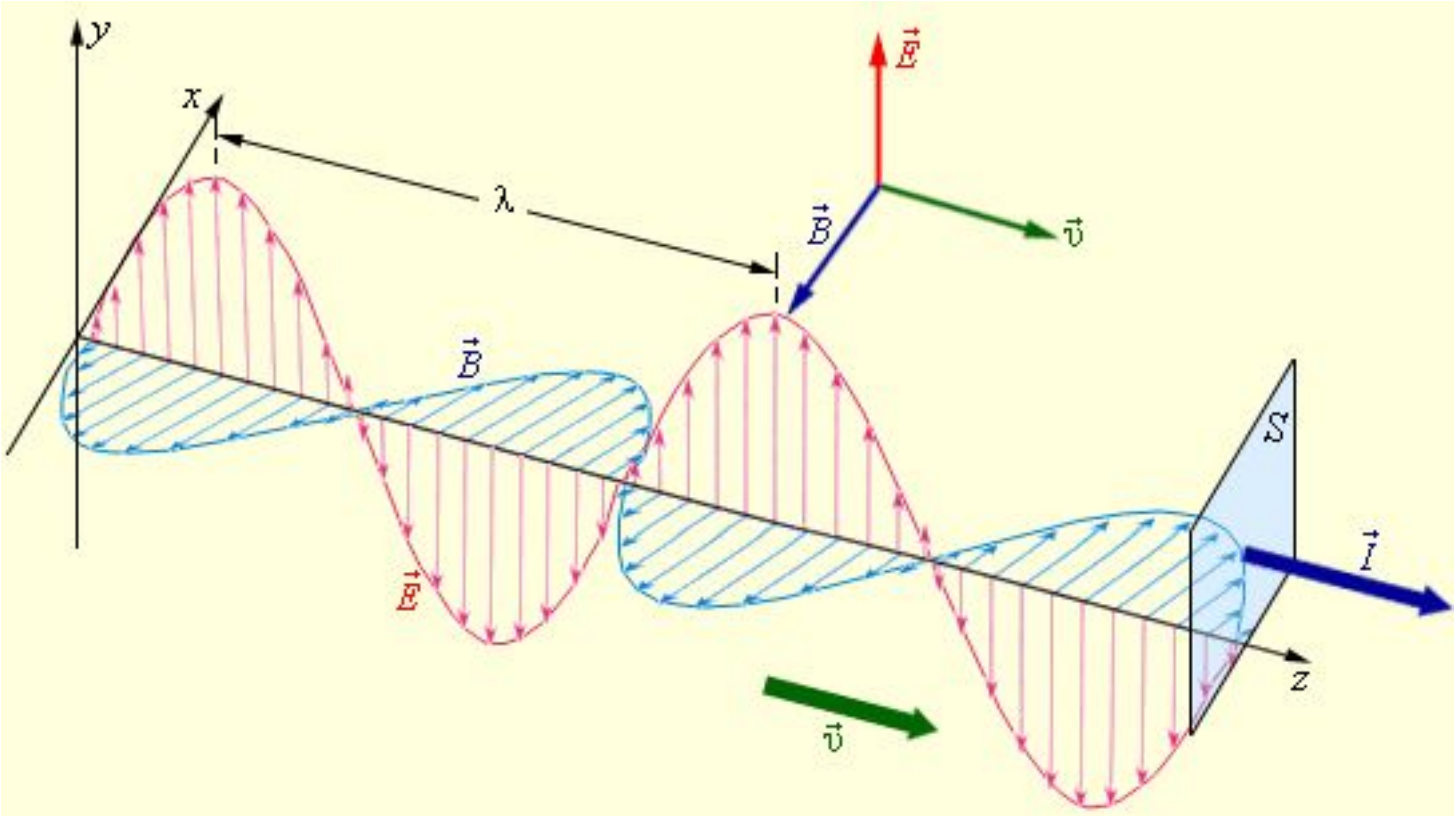
Материальные уравнения:

$$\boxed{\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \vec{E}}$$

$$\boxed{\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}}$$

$$\boxed{\vec{j} = \sigma \vec{E}}$$

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ВАКУУМЕ



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ВАКУУМЕ

1. Э/м волны поперечны
2. Э/м волны распространяются со скоростью

$$\boxed{\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}}}$$

3. Объемные плотности электрического и магнитного полей равны друг другу

$$\boxed{\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}}$$

4. Э/м волны переносят энергию. Например, через площадку S за малое время Δt будет перенесена энергия:

$$\boxed{\Delta W = \left(\omega_E + \omega_M\right)\cdot\upsilon\cdot S\cdot\Delta t}$$

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ВАКУУМЕ