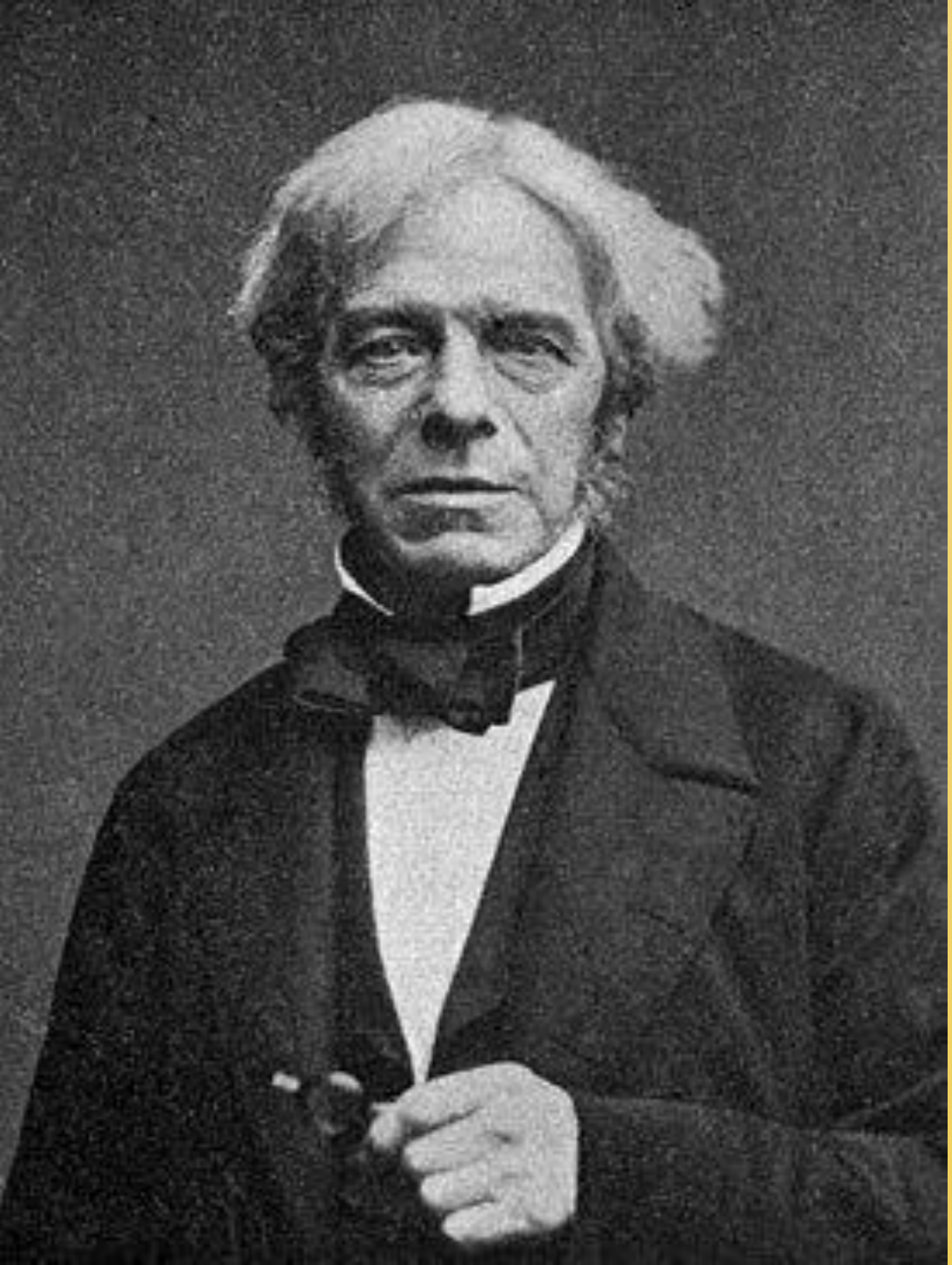
3.5 Электромагнитная индукция

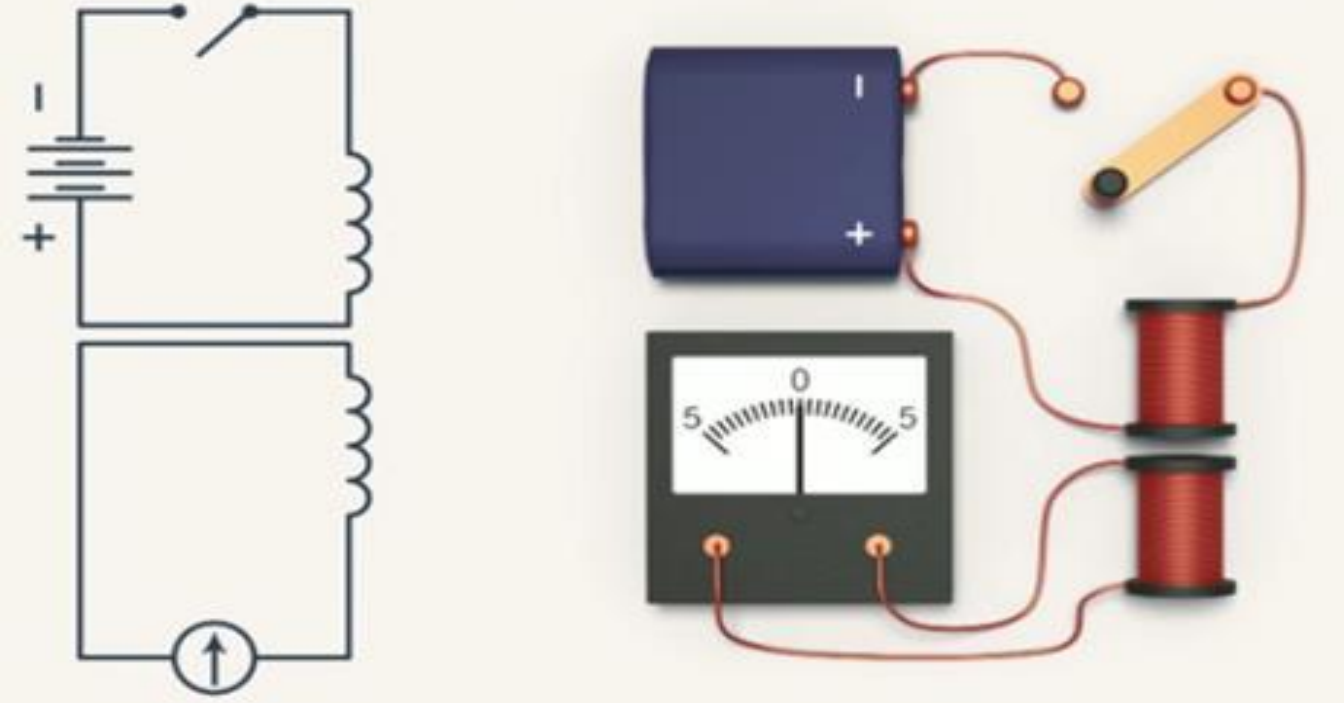
3.5.1 Самоиндукция

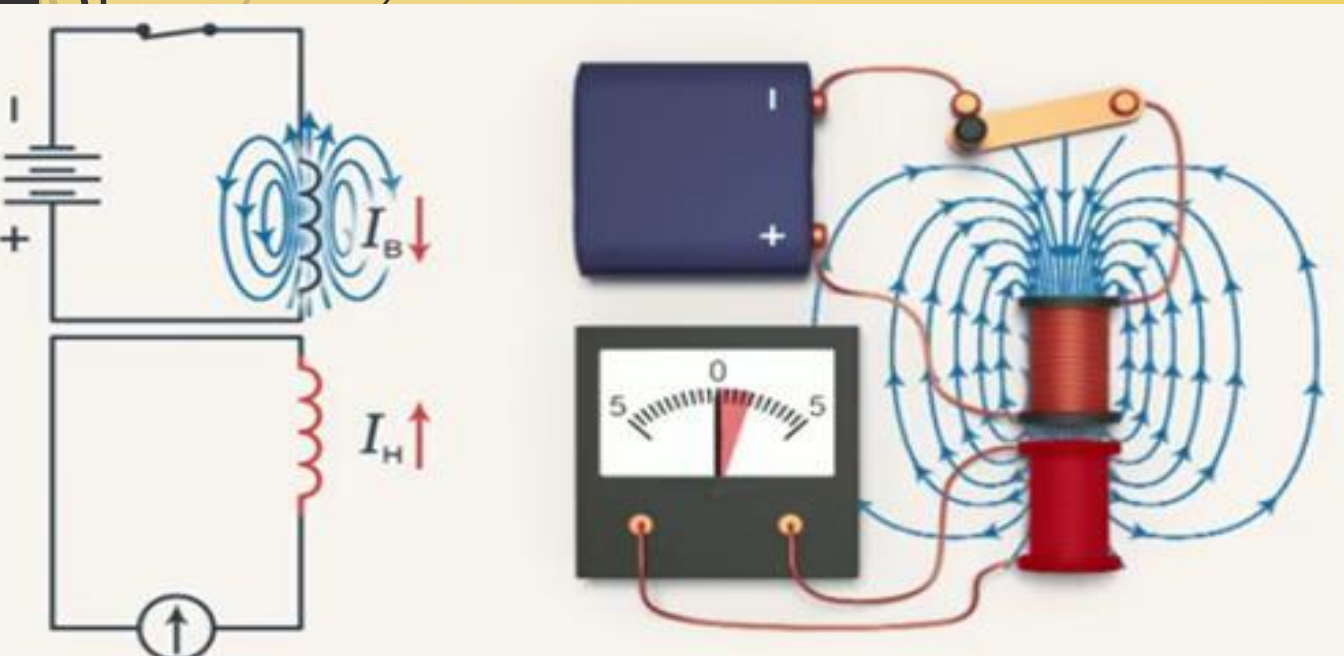
3.5.2 Энергия магнитного поля



Электромагнитная индукция - явление возникновения электрического тока в замкнутом проводнике под действием переменного магнитного поля.

Электрический ток, возникающий при электромагнитной индукции называется **индукционным**

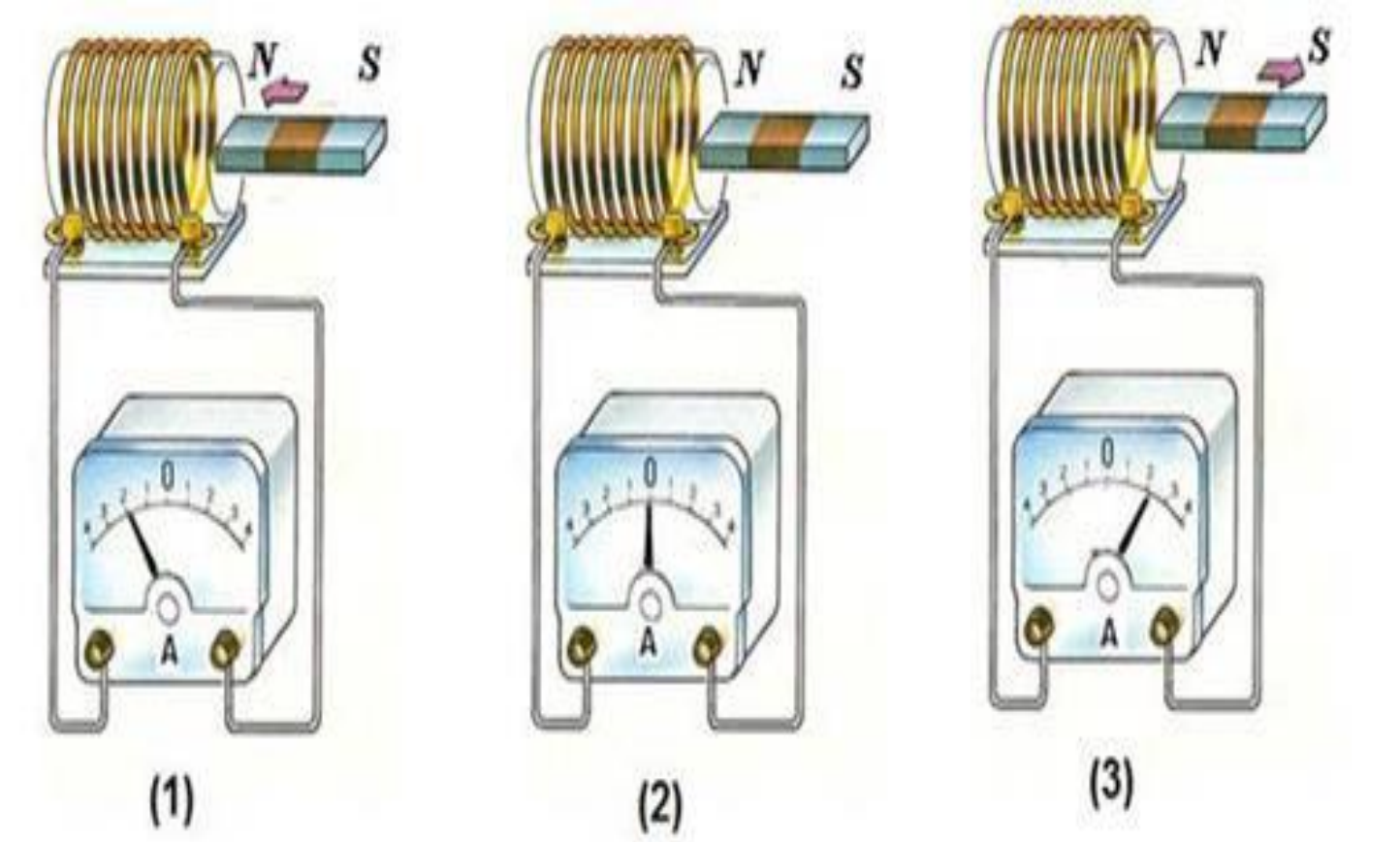




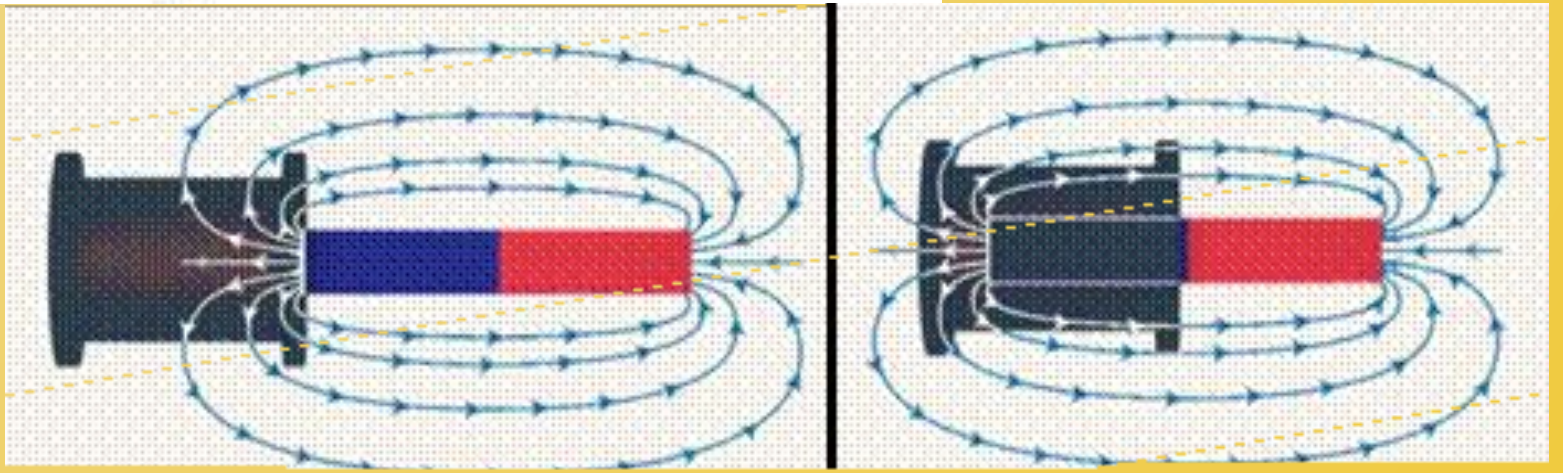
При замыкании цепи в первой катушке появляется ток. Т.к обмотки катушек не соприкасаются => источник тока не имеет отношения к возникновению тока во второй катушке.

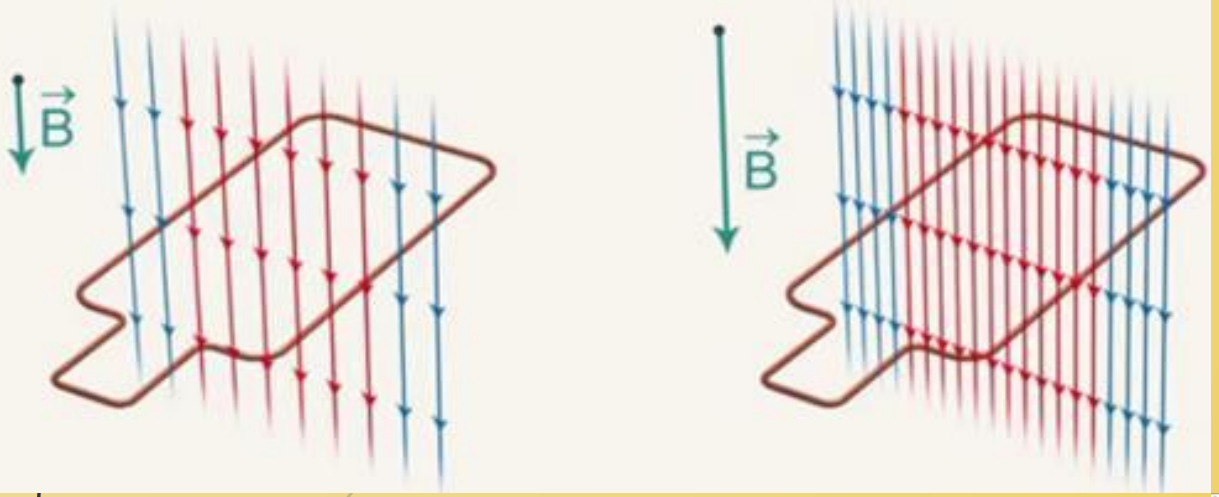
Первая катушка при протекании по ней электрического тока ведет себя как магниту => вторая катушка оказывается пронизанной магнитным полем, созданным первой катушкой

Значит, магнитное поле причастно к возникновению тока во второй катушке. Ток во второй катушке быстро прекращается, но первая катушка не перестает быть магнитом. Ток во второй катушке снова появляется в момент размыкания цепи первой катушки, то есть при исчезновении магнитного поля первой катушки =>к возникновению тока во второй катушке причастно не установившееся магнитное поле, а изменение магнитного поля в первой катушке.



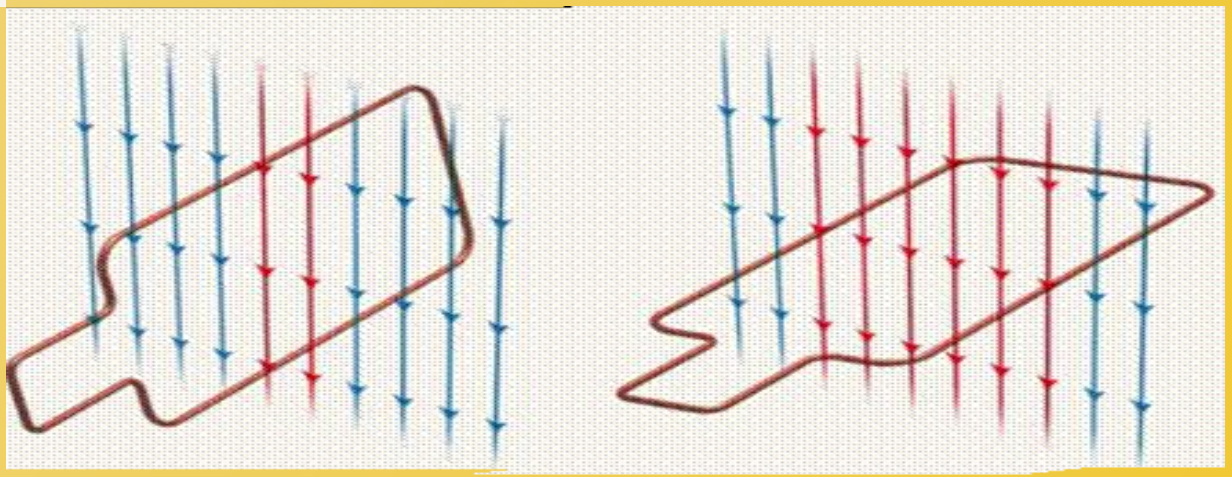
Если приближать магнит к катушке, то число линий, которые пронизывают плоскость этой катушки, увеличивается. Если держать магнит неподвижным, то число линий, пронизывающих катушку, остается неизменным. Если удалять магнит от катушки, то число линий, пронизывающих катушку уменьшается.





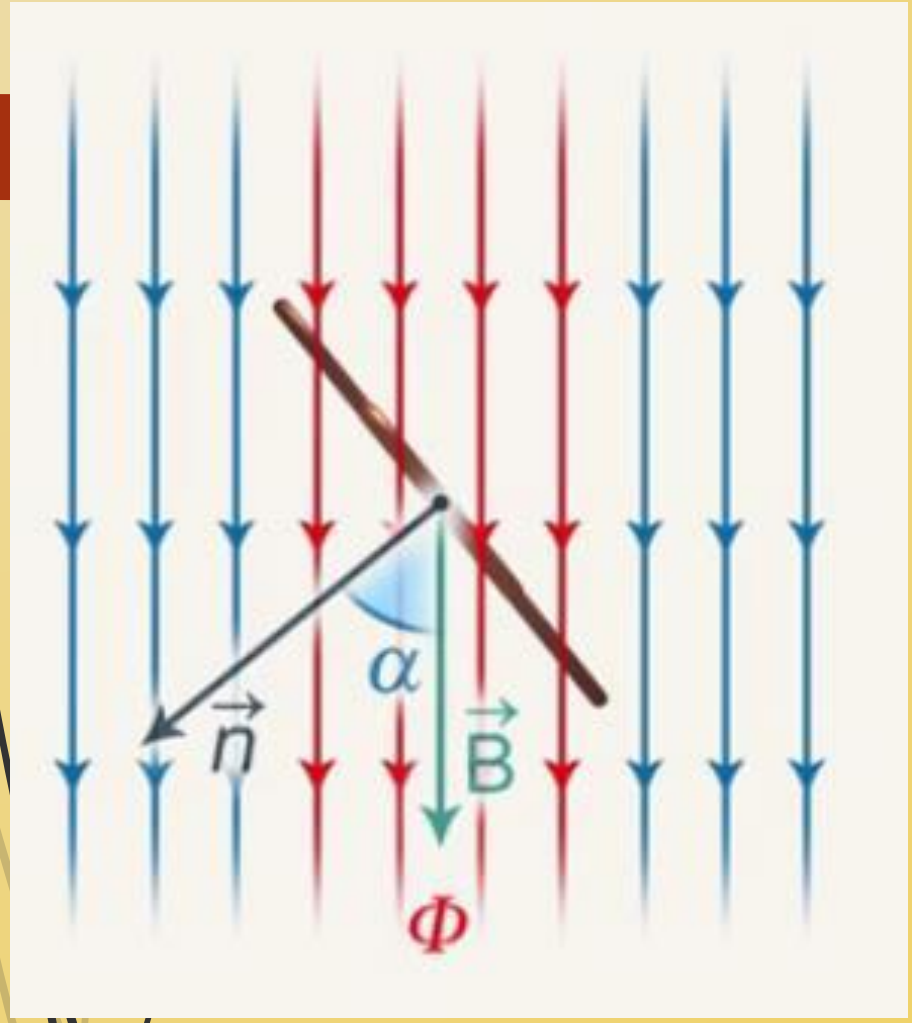
Чем больше линий магнитного поля пронизывают площадку, тем выше значение модуля магнитной индукции

Число линий магнитного поля, которые пронизывают некоторую площадку, зависит также от того, как ориентирована данная площадка по отношению к вектору магнитной индукции



Магнитное поле, зависит:

1. От индукции магнитного поля.
2. От размера площадки.
3. От угла между нормалью и магнитной индукцией



Магнитный поток (Ф)- это величина, равная произведению модуля магнитной индукции на площадь поверхности, пронизываемой линиями магнитного поля, умноженному на косинус угла между вектором магнитной индукции и нормалью к этой поверхности.

$$Ф = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

При быстром движении магнита величина индукционного тока выше, чем при медленном движении. Величина индукционного тока зависит от скорости изменения магнитного потока:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(B \cdot S \cdot \cos \alpha)}{\Delta t}$$

Скорость изменения магнитного потока – это электродвижущая сила, приводящая в упорядоченное движение электроны в проводнике катушки:

$$\varepsilon_i = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$$

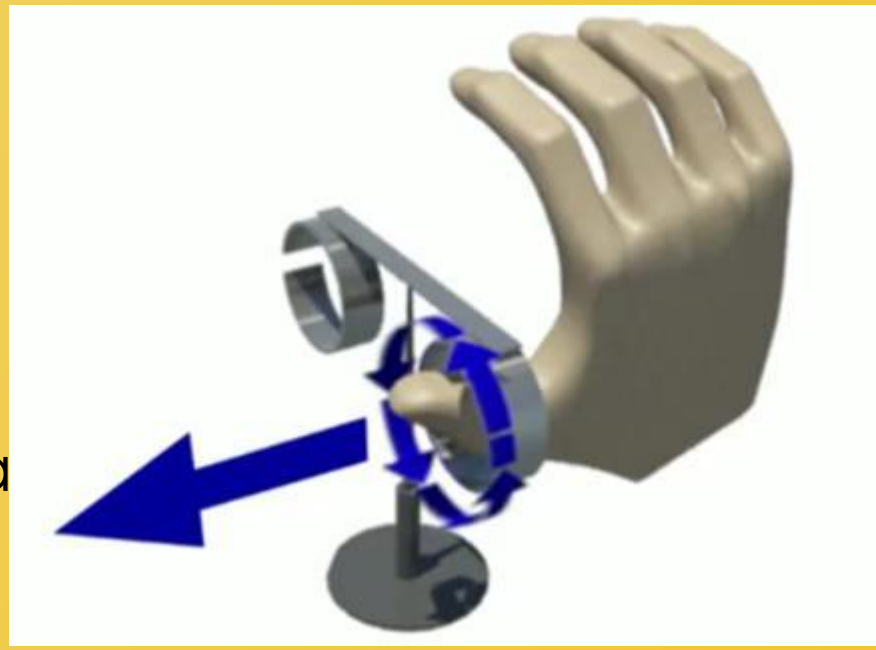
При изменении магнитного потока, пронизывающего токопроводящий контур, в этом контуре возникает электродвижущая сила, модуль которой равен модулю скорости изменения магнитного потока.

Направление индукционного тока в контуре определяется правилом Ленца

Причины отталкивания или притягивания кольца к магниту:

1. При приближении магнита
2. При удалении магнита от кольца

Направление индукционного тока в кольце можно определить по правилу правой руки. Если направить большой палец правой руки по направлению вектора магнитной индукции, то четыре согнутых пальца укажут направление тока в кольце



Правило Ленца:

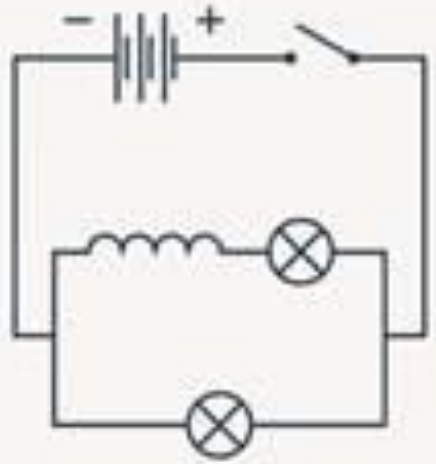
При изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в контуре возникает индукционный ток такого направления, чтобы своим магнитным потоком компенсировать изменение внешнего магнитного потока.

При изменении магнитного потока, пронизывающего плоскость контура, в этом контуре возникает электродвижущая сила, численно равная скорости изменения магнитного потока, взятого со знаком минус:

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

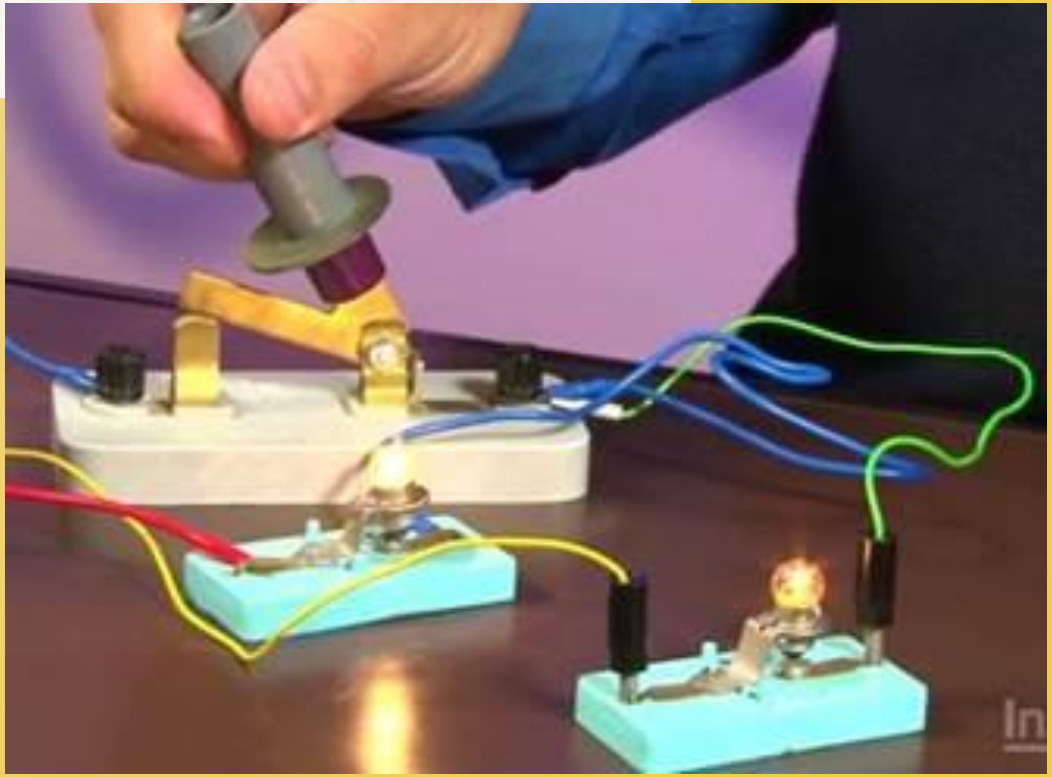
Знак минус отражает тот факт, что индукционный поток направлен таким образом, чтобы своим магнитным полем препятствовать изменению магнитного потока, вызывающего этот ток.

Схема экспериментальной установки Джозефа Генри



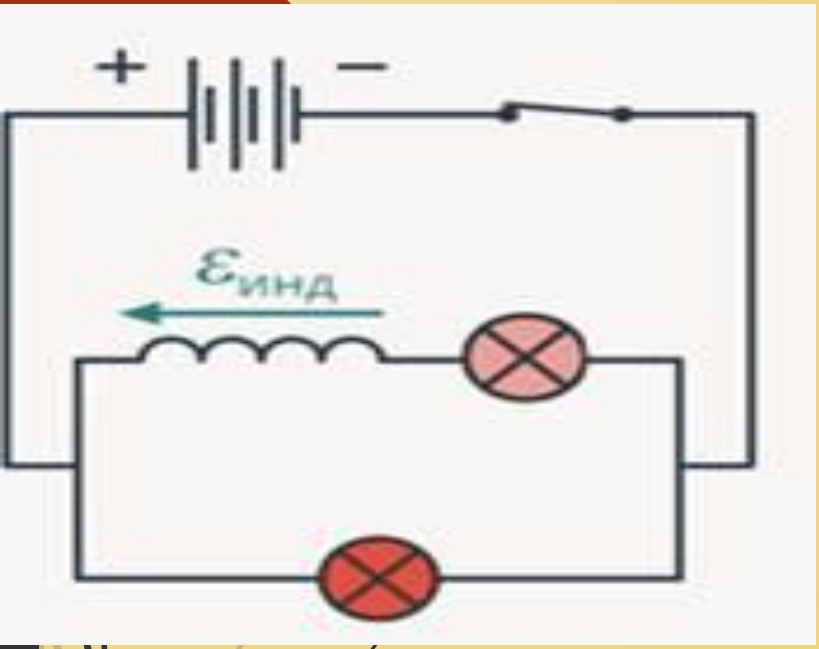
При нахождении в цепи мощной катушки ток в этой цепи достигает своего максимального значения гораздо медленнее, чем без катушки.

После замыкания цепи лампочка, которая соединена последовательно с катушкой, загорается медленнее, чем вторая лампочка



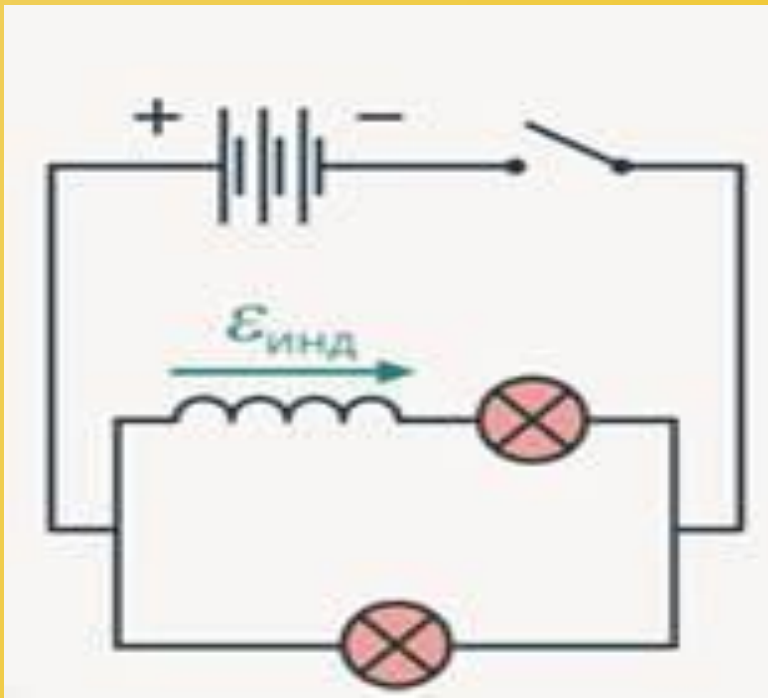
При отключении источника лампочка, подключенная последовательно с катушкой, гаснет медленнее, чем вторая лампочка.

Почему лампочки гаснут не одновременно



При замыкании ключа из-за возникновения ЭДС самоиндукции ток в лампочке с катушкой нарастает медленнее, поэтому эта лампочка загорается медленнее.

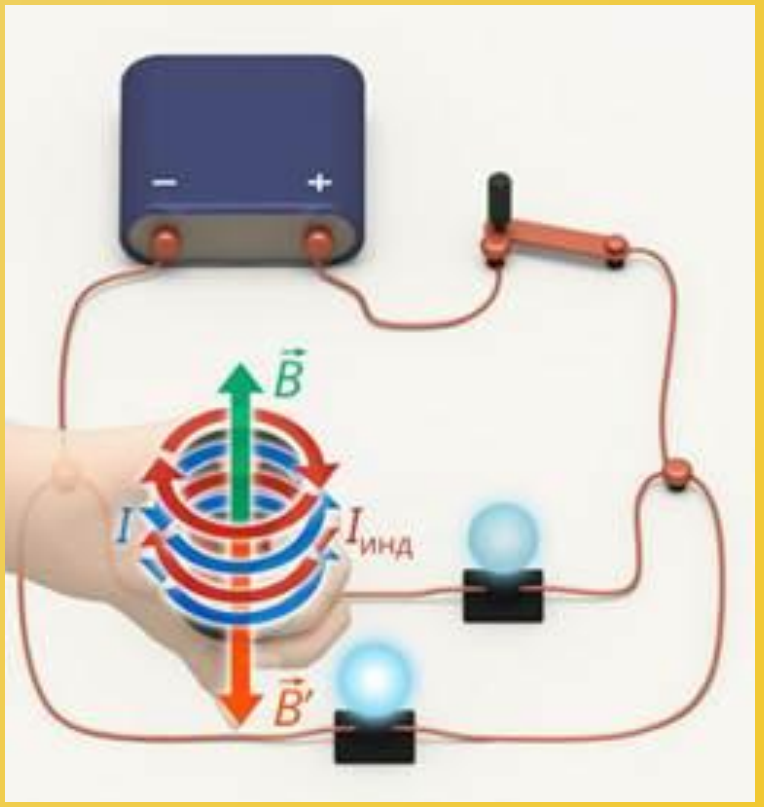
При размыкании ключа возникающая ЭДС самоиндукции мешает убыванию тока. Поэтому ток еще некоторое время продолжает течь.



Процессы, происходящие в данной цепи при замыкании и размыкании ключа.

1. Замыкание ключа.

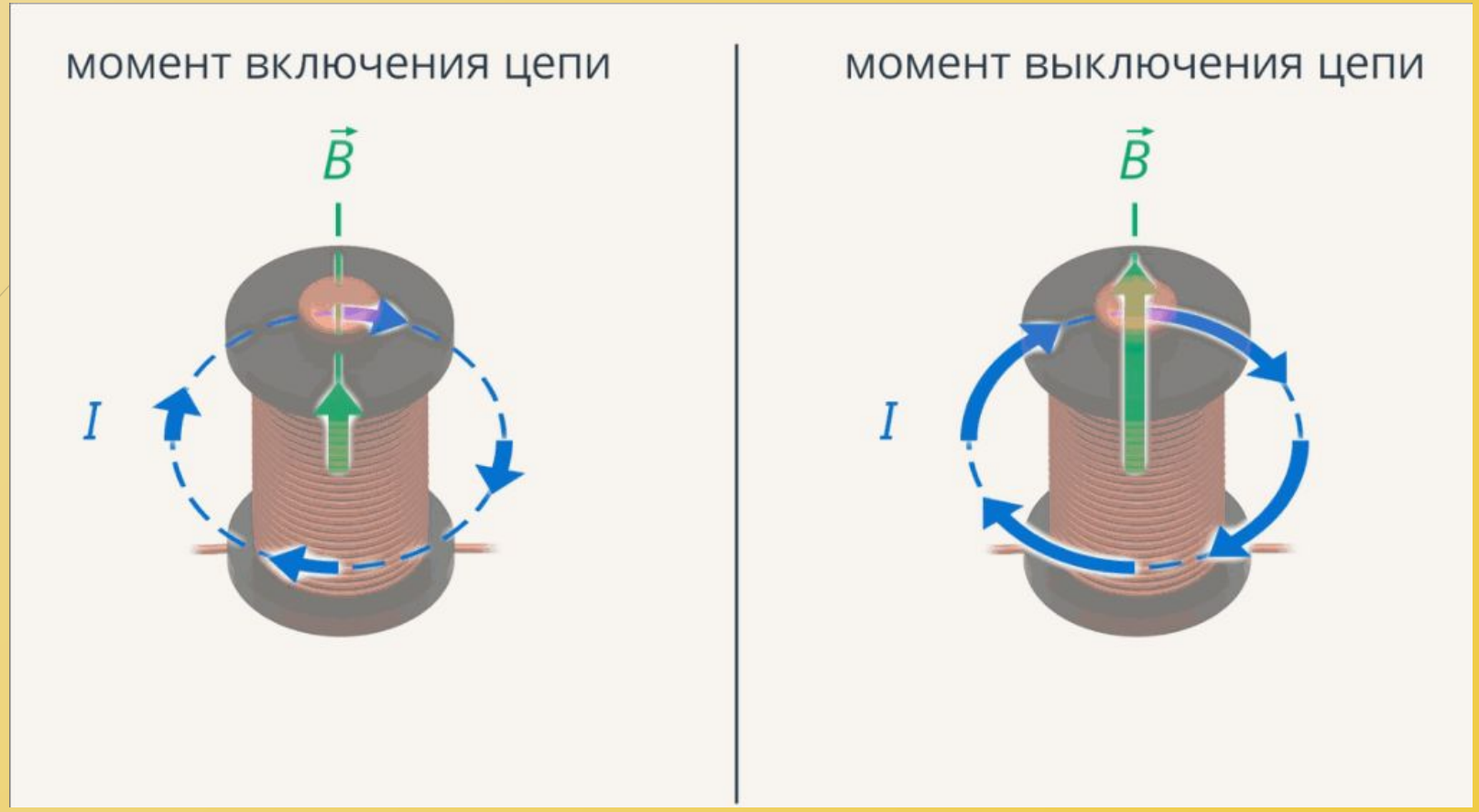
В цепи находится токопроводящий виток. Пусть ток в этом витке течет против часовой стрелки. Тогда магнитное поле будет направлено вверх.



2. Размыкание ключа

При размыкании ключа ток в цепи уменьшается, что приводит к уменьшению магнитного потока сквозь плоскость витка. Уменьшение магнитного потока приводит к появлению ЭДС индукции и индукционного тока. В этом случае индукционный ток направлен в ту же сторону, что и собственный ток витка. Это приводит к замедлению убывания собственного тока.

Самоиндукция – это явление возникновения электромагнитной индукции в проводнике при изменении силы тока, протекающего сквозь этот проводник.



Вывод: при изменении тока в проводнике возникает электромагнитная индукция в этом же проводнике, что порождает индукционный ток, направленный таким образом, чтобы препятствовать любому изменению собственного тока в проводнике. В этом заключается суть явления самоиндукции. Самоиндукция – это частный случай электромагнитной индукции.

Формула для нахождения магнитной индукции прямого проводника с током:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

B-магнитная индукция, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ - магнитная постоянная, I – сила тока, r- расстояние от проводника до точки

Поток магнитной индукции через площадку равен:

$$Ф = B \cdot S$$

S - площадь поверхности, которая пронизывается магнитным потоком.

Для катушки, в которой N- число витков, а l– длина, индукция магнитного поля определяется следующим соотношением:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{l}$$

Магнитный поток, созданный катушкой с числом витков *N*, равен:

$$Ф=B \cdot S \cdot N$$

Электродвижущая сила самоиндукции прямо пропорциональна скорости изменения тока, протекающего сквозь проводник, взятой со знаком минус. Коэффициент пропорциональности называется **индуктивностью (L)**, которая зависит от геометрических параметров проводника.

$$L= \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l} \cdot S$$

Поток магнитной индукции, вызванный током в катушке, равен:

$$Ф=I \cdot L$$

$$\varepsilon = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$