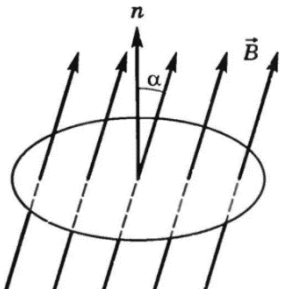
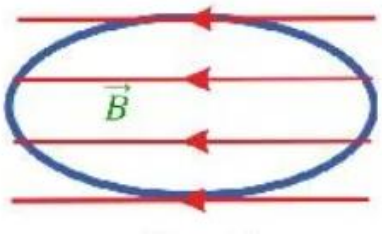
Магнитный поток

Магнитный поток, пронизывающий контур - физическая величина, равная произведению модуля вектора магнитной индукции B, площади поверхности контура S, пронизываемого данным потоком, и косинуса угла α между направлением вектора магнитной индукции и вектора нормали (перпендикуляра к плоскости данной поверхности)



$$\Phi = BS\cos\alpha.$$

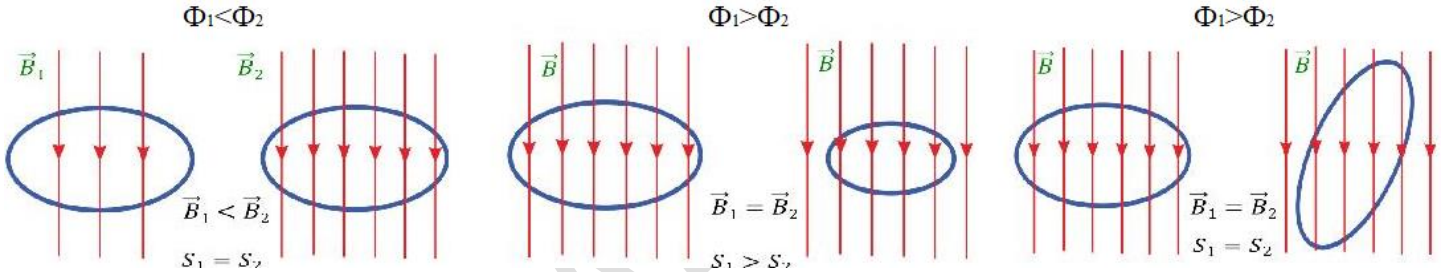
Обозначение – Ф, единица измерения в СИ – вебер (Вб). Физический смысл: магнитный поток в 1 вебер создается однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через поверхность площадью 1 м^2, расположенную перпендикулярно вектору магнитной индукции.



В зависимости от угла α магнитный поток может быть положительным ($\alpha < 90°$) или отрицательным ($\alpha > 90°$). Если $\alpha = 90°$, то магнитный поток равен 0 (ни одна из линий не пронизывает контур).

Магнитный поток можно наглядно представить, как величину, пропорциональную числу магнитных линий, проходящих через данную площадь.

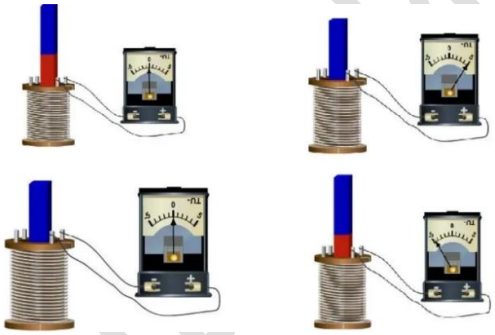
Чтобы изменить магнитный поток нужно изменить площадь контура, модуль индукции поля или расположение контура в магнитном поле (поворачивая его).



Явление электромагнитной индукции

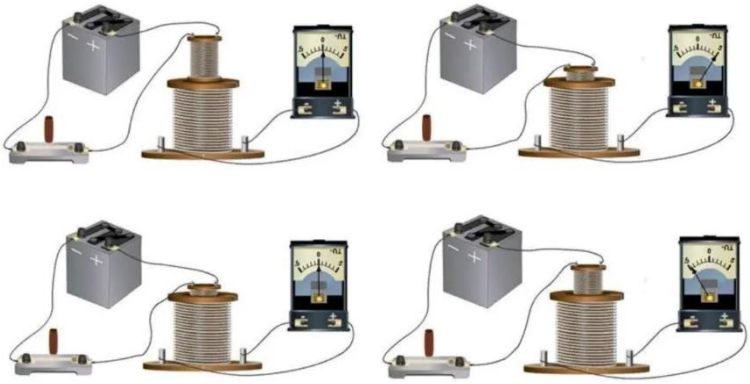
Электромагнитная индукция– явление возникновения тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего его. Явление электромагнитной индукции было открыто М. Фарадеем.

Опыты Фарадея

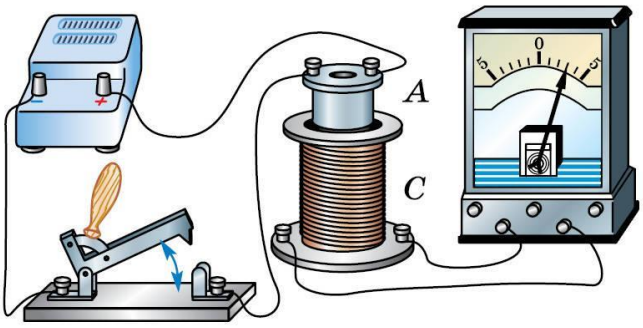


I. Катушка замкнута на гальванометр, а магнит движется – вдвигается (выдвигается) – относительно катушки. Индукционный ток возникает только при перемещении магнита. Направление тока зависит от того каким полюсом вносят магнит и от того вносят его или выносят из катушки.

II. Первая катушка была подключена к источнику тока, вторая, подключенная к гальванометру, перемещалась относительно нее. При приближении или удалении катушки фиксировался ток.



III. В опытах используется две катушки с общим железным сердечником: одна – подсоединена к источнику тока, вторая – замкнута на гальванометр. При замыкании ключа и протекании тока по второй катушке в первой возникал импульс тока. При размыкании ключа также наблюдался импульс тока, но ток через гальванометр тек в противоположном направлении. Также, индукционный ток возникает, если в цепь первой катушки поместить реостат и менять силу тока в ней при помощи него.



Выводы, которые можно сделать по результатам опытов Фарадея:

1. индукционный ток возникает только при изменении линий магнитной индукции;
2. направление тока будет различно при увеличении числа линий и при их уменьшении;
3. сила индукционного тока зависит от скорости изменения магнитного потока;
4. может изменяться само поле, или контур может перемещаться в неоднородном магнитном поле

Объяснения возникновения индукционного тока

Ток в цепи может существовать, когда на свободные заряды действуют сторонние силы. Работа этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль замкнутого контура равна ЭДС. Значит, при изменении числа магнитных линий через поверхность, ограниченную контуром, в нем появляется ЭДС, которую называют ЭДС индукции.

Причина изменения магнитного потока	
Движение проводника	Изменение магнитного поля
Проводники, а вместе с ними и свободные носители заряда, движутся в магнитном поле. Возникновение ЭДС индукции в движущемся в магнитном поле проводнике объясняется действием силы Лоренца на свободные заряды в движущихся проводниках. Сила Лоренца играет в этом случае роль сторонней силы.	Электроны в неподвижном проводнике могут приводиться в движение только электрическим полем. Это электрическое поле порождается изменяющимся во времени магнитным полем. Его называют **вихревым электрическим полем.**
Движущийся в магнитном поле проводник, по которому протекает индукционный ток, испытывает магнитное торможение. Полная работа силы Лоренца равна нулю. Количество теплоты в контуре выделяется либо за счет работы внешней силы, которая поддерживает скорость проводника неизменной, либо за счет уменьшения кинетической энергии проводника.	Представление о вихревом электрическом поле было введено в физику английским физиком Дж. Максвеллом в 1861 году. Работа этого поля при перемещении единичного положительного заряда по замкнутому контуру равна ЭДС индукции в неподвижном проводнике.

Закон электромагнитной индукции Фарадея

ЭДС индукции в замкнутом контуре равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

ФИЗИКА-ОНЛАЙН

Знак «–» в формуле позволяет учесть направление индукционного тока. Индукционный ток в замкнутом контуре имеет всегда такое направление, чтобы магнитный поток поля, созданного этим током сквозь поверхность, ограниченную контуром, уменьшал бы те изменения поля, которые вызвали появление индукционного тока.

При расчете ЭДС индукции контура, состоящего из N витков

$$\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

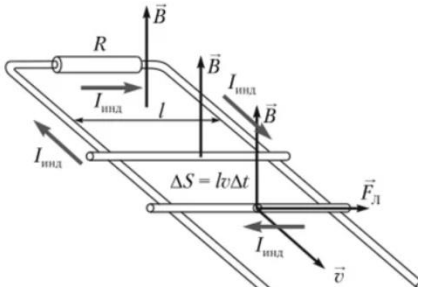
Закон Ома для расчета силы индукционного в замкнутом проводящем контуре с сопротивлением R

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R}.$$

Расчет ЭДС индукции в зависимости от способа изменения магнитного потока:

1. Магнитный поток изменяется за счет изменения модуля вектора магнитной индукции

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta BS\cos\alpha}{\Delta t}.$$



2. Магнитный поток изменяется за счет изменения площади контура. **Типичная ситуация в задачах**: П-образный контур с пренебрежимо малым сопротивлением находится в однородном магнитном поле, с индукцией магнитного поля B, по контуру с постоянной скоростью v скользит перемычка длиной l

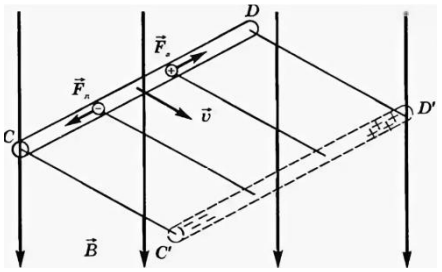
$$\varepsilon_i = Blv\sin\alpha,$$

где α – угол между векторами $\vec{B}$ и $\vec{v}$.

Важно! При движении проводника длиной l (даже при отсутствии контура) со скоростью v в постоянном однородном магнитном поле с индукцией B, ЭДС электромагнитной индукции также равна

$$\varepsilon_i = Blv\sin\alpha,$$

где α – угол между векторами $\vec{B}$ и $\vec{v}$.



3. Магнитный поток изменяется за счет изменения ориентации контура в магнитном поле (контур вращается в однородном магнитном поле с частотой ν). Угол изменяется по закону $\alpha = \omega t = 2\pi\nu t$. ЭДС индукции может быть найдена как производная от магнитного потока по времени

$$\varepsilon = -\Phi`_t = (-BS\cos\alpha)`_t = (-BS\cos\omega t)`_t = BS\sin\omega t\cdot(\omega t)`_t = BS\omega\sin\omega t$$

Амплитудное (максимальное) значение ЭДС в контуре $\varepsilon_m = BS\omega$.

Правило Ленца

Направление индукционного тока определяется по **правилу Ленца**: индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

Алгоритм применения правила Ленца:

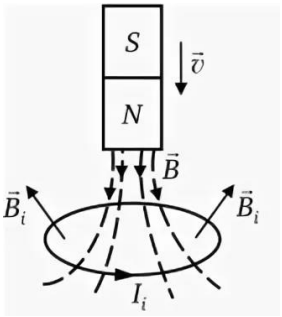
1. Определить направление линий внешнего магнитного поля;

2. Определить увеличивается ($\Delta\Phi > 0$) или уменьшается ($\Delta\Phi < 0$) магнитный поток;

3. Если $\Delta\Phi > 0$, то линии магнитного поля индукционного тока направлены противоположно линиям внешнего магнитного поля. Если $\Delta\Phi < 0$, то указанные линии направлены одинаково;

4. По правилу правой руки определить направление индукционного тока.

ФИЗИКА-ОНЛАЙН



Пример. Постоянный магнит северным полюсов вдвигают в проводящее кольцо:

1. Линии внешнего магнитного поля (магнитного поля магнита) направлены от севера к югу (вниз);

2. Магнитный поток увеличивается ($\Delta\Phi > 0$);

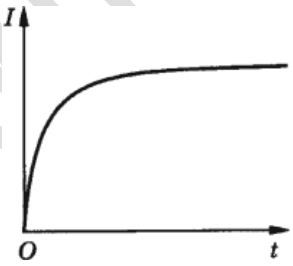
3. Линии магнитного поля индукционного тока направлены противоположно линиям магнитного поля магнита;

4. По правилу правой руки, индукционный ток направлен против часовой стрелки.

Правило Ленца имеет глубокий физический смысл – оно выражает закон сохранения энергии.

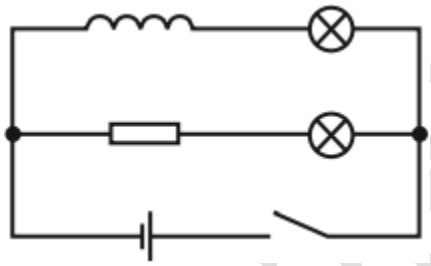
Явление самоиндукции

Самоиндукция – это явление возникновения ЭДС индукции в проводнике в результате изменения тока в нем.



При изменении силы тока в катушке происходит изменение магнитного потока, создаваемого этим током. Изменение магнитного потока, пронизывающего катушку, должно вызывать появление ЭДС индукции в катушке. В соответствии с правилом Ленца ЭДС самоиндукции препятствует нарастанию силы тока при включении и убыванию силы тока при выключении цепи. Это приводит к тому, что при замыкании цепи, в которой есть источник тока с постоянной ЭДС, сила тока устанавливается через некоторое время. При отключении источника ток также не прекращается мгновенно. Возникающая при этом ЭДС самоиндукции может превышать ЭДС источника.

Явление самоиндукции можно наблюдать, собрав электрическую цепь из катушки с большой индуктивностью, резистора, двух одинаковых ламп накаливания и источника тока. Резистор должен иметь такое же электрическое сопротивление, как и провод катушки.



Опыт показывает, что при замыкании цепи электрическая лампа, включенная последовательно с катушкой, загорается несколько позже, чем лампа, включенная последовательно с резистором. Нарастанию тока в цепи катушки при замыкании препятствует ЭДС самоиндукции, возникающая при возрастании магнитного потока в катушке.

При отключении источника тока вспыхивают обе лампы. В этом случае ток в цепи поддерживается ЭДС самоиндукции, возникающей при убывании магнитного потока в катушке.

Опыты показывают, что запаздывание тока в лампе зависит от свойств, подключенной последовательно к ней катушки: числа витков катушки, наличия или отсутствия сердечника и т.д. Величина, характеризующая способность проводника противодействовать изменению силы тока в нем, называется индуктивностью. Обозначение – L. Единица индуктивности в СИ – генри (Гн). Индуктивность контура равна 1 генри, если при силе постоянного тока 1 ампер магнитный поток через контур равен 1 вебер. Связь индуктивности и магнитного потока

$$\Phi = LI.$$

ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке, по закону электромагнитной индукции равна

$$\varepsilon_{si} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Магнитное поле обладает энергией. Энергия магнитного поля тока вычисляется по формуле

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