

# Явления электромагнитной индукции

# Электромагнитная индукция

ЭТО явление возникновения тока в замкнутом проводнике при прохождении через него магнитного потока, изменяющегося со временем.

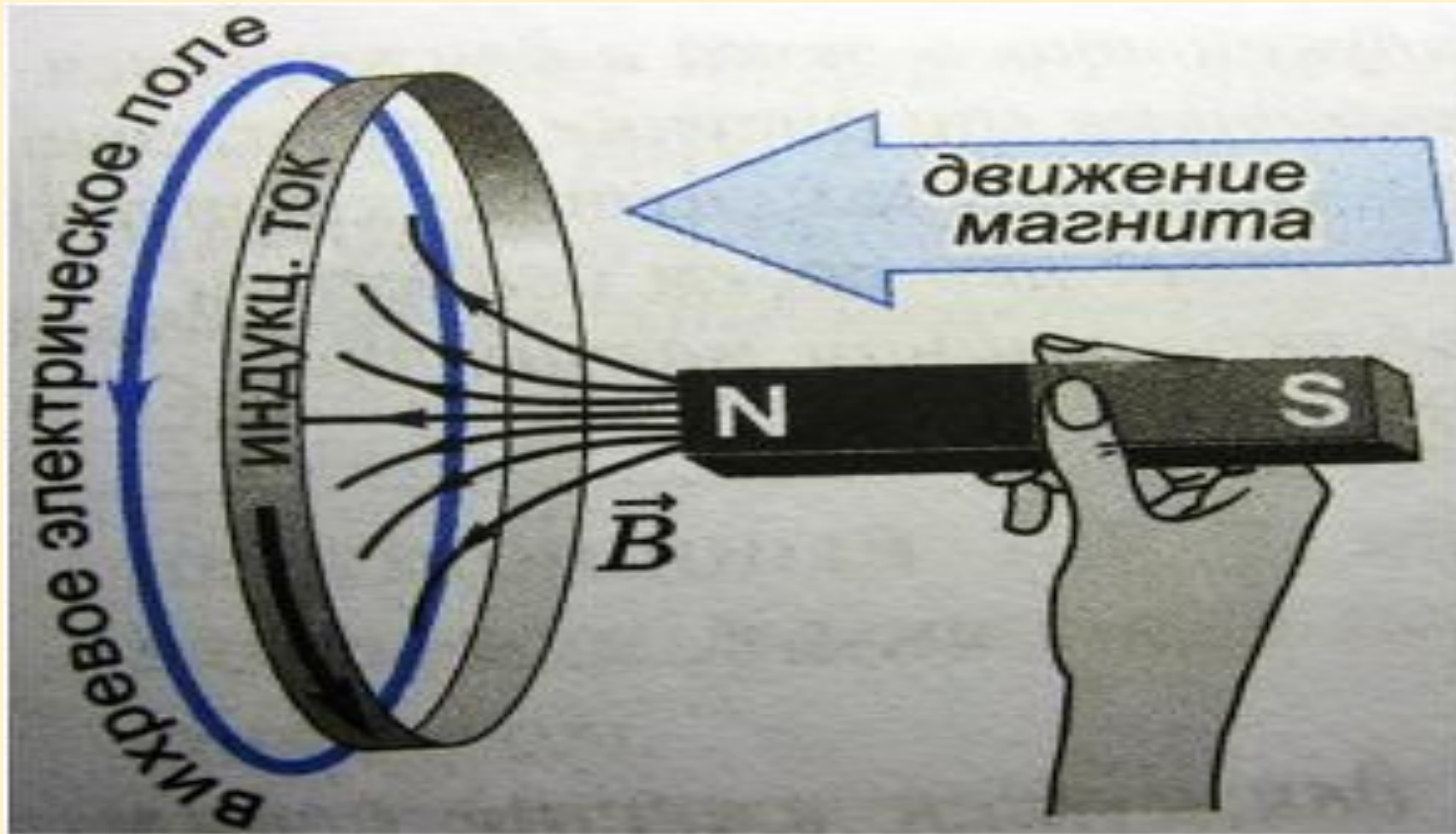
Явление электромагнитной индукции было открыто М. Фарадеем.

# Опыт Фарадея

Индукционный ток возникает только при изменении линий магнитной индукции. Направление тока будет различно при увеличении числа линий и при их уменьшении.

Сила индукционного тока зависит от скорости изменения магнитного потока. Может изменяться само поле, или контур может перемещаться в неоднородном магнитном поле.

Вихревое электрическое поле - это электрическое поле, которое порождается переменным магнитным полем и линии напряженности которого замкнуты.



Переменное магнитное поле порождает индуцированное электрическое поле. Если магнитное поле постоянно, то индуцированного электрического поля не возникнет. Следовательно, индуцированное электрическое поле не связано с зарядами, как это имеет место в случае электростатического поля; его силовые линии не начинаются и не заканчиваются на зарядах, а замкнуты сами на себя, подобно силовым линиям магнитного поля. Это означает, что индуцированное электрическое поле, подобно магнитному, является вихревым.

# Свойства вихревого электрического поля:

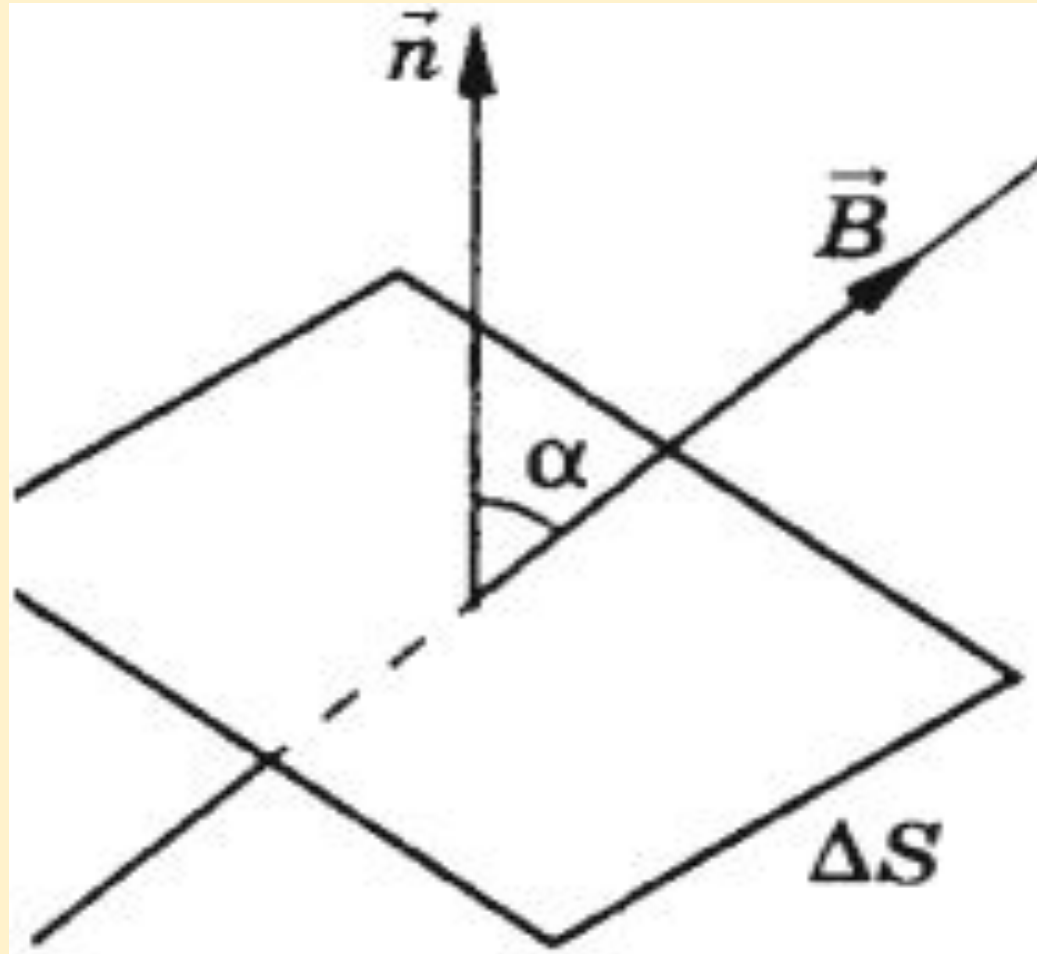
- ✓ источник – переменное магнитное поле;
- ✓ обнаруживается по действию на заряд;
- ✓ не является потенциальным;
- ✓ линии поля замкнутые.

Магнитным потоком через площадь  $S$  контура называют скалярную физическую величину, равную произведению модуля вектора магнитной индукции  $B$ , площади поверхности  $S$ , пронизываемой данным потоком, и косинуса угла  $\alpha$  между направлением вектора магнитной индукции и вектора нормали (перпендикуляра к плоскости данной поверхности):

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Обозначение –  $\Phi$ , единица измерения в СИ – вебер (Вб).

# Магнитный поток





Магнитный поток в 1 вебер создается однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно вектору магнитной индукции:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2.$$

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

Изменить магнитный поток можно меняя площадь контура, модуль индукции поля или расположение контура в магнитном поле (поворачивая его).

# Закон электромагнитной индукции Фарадея

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

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

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.

Если контур состоит из  $N$  витков, то ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Сила индукционного тока в замкнутом проводящем контуре с сопротивлением  $R$ :

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R}.$$

При движении проводника длиной  $l$  со скоростью  $v$  в постоянном однородном магнитном поле с индукцией  $B$  ЭДС электромагнитной индукции равна:

$$\mathcal{E}_i = B \cdot v \cdot l \cdot \sin \alpha,$$

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

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.

Движущийся в магнитном поле проводник, по которому протекает индукционный ток, испытывает магнитное торможение. Полная работа силы Лоренца равна нулю.

## 2 причины изменения магнитного потока

- ✓ магнитный поток изменяется вследствие перемещения контура или его частей в постоянном во времени магнитном поле. Это случай, когда проводники, а вместе с ними и свободные носители заряда, движутся в магнитном поле;
- ✓ изменение во времени магнитного поля при неподвижном контуре. В этом случае возникновение ЭДС индукции уже нельзя объяснить действием силы Лоренца. Явление электромагнитной индукции в неподвижных проводниках, возникающее при изменении окружающего магнитного поля, также описывается формулой Фарадея.

Явления индукции в движущихся и неподвижных проводниках протекают одинаково, но физическая причина возникновения индукционного тока оказывается в этих двух случаях различной:

- в случае движущихся проводников ЭДС индукции обусловлена силой Лоренца;
- в случае неподвижных проводников ЭДС индукции является следствием действия на свободные заряды вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля.

# Правило 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.

# Индуктивность

Электрический ток, проходящий по проводнику, создает вокруг него магнитное поле. Магнитный поток  $\Phi$  через контур из этого проводника пропорционален модулю индукции  $B$  магнитного поля внутри контура, а индукция магнитного поля, в свою очередь, пропорциональна силе тока в проводнике.



Магнитный поток через контур прямо пропорционален силе тока в контуре  $\Phi = LI$ .

Индуктивность – коэффициент пропорциональности  $L$  между силой тока  $I$  в контуре и магнитным потоком  $\Phi$ , создаваемым этим током:  $L = \frac{\Phi}{I}$ .

Индуктивность зависит от размеров и формы проводника, от магнитных свойств среды, в которой находится проводник.

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:

$$1\text{Гн} = \frac{1\text{Вб}}{1\text{А}}.$$

## Второе определение единицы индуктивности:

Элемент электрической цепи обладает индуктивностью в 1 Гн, если при равномерном изменении силы тока в цепи на 1 ампер за 1 с в нем возникает ЭДС самоиндукции 1 вольт.