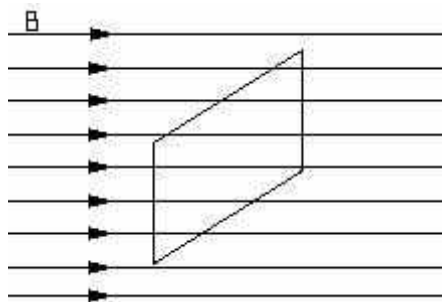


**Тема учебного занятия: Магнитный поток. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции. Решение задач по теме "Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции".**

**Магнитный поток**

Что такое магнитный поток?



На картинке показано однородное магнитное поле. Однородное означает одинаковое во всех точках в данном объеме. В поле помещена поверхность с площадью  $S$ . Линии поля пересекают поверхность.

*Магнитным потоком  $\Phi$  через поверхность  $S$  называют количество линий вектора магнитной индукции  $B$ , проходящих через поверхность  $S$ .*

*Формула магнитного потока:*

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

здесь  $\alpha$  - угол между направлением вектора магнитной индукции  $B$  и нормалью к поверхности  $S$ .

Из формулы магнитного потока видно, что максимальным магнитный поток будет при  $\cos \alpha = 1$ , а это случится, когда вектор  $B$  параллелен нормали к поверхности  $S$ . Минимальным магнитный поток будет при  $\cos \alpha = 0$ , это будет, когда вектор  $B$  перпендикулярен нормали к поверхности  $S$ , ведь в этом случае линии вектора  $B$  будут скользить по поверхности  $S$ , не пересекая её.

А по определению магнитного потока учитываются только те линии вектора магнитной индукции, которые пересекают данную поверхность.

Магнитный поток является скалярной величиной.

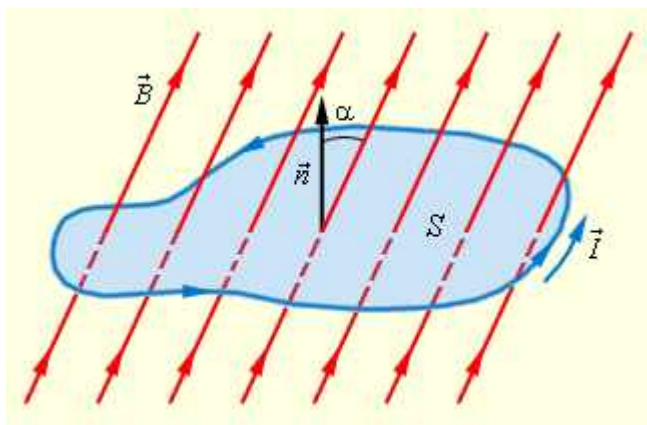


Рисунок 1 Магнитный поток через замкнутый контур. Направление нормали и выбранное положительное направление обхода контура связаны правилом правого буравчика

### ***Магнитный поток измеряется***

Измеряется магнитный поток **в веберах (вольт-секундах):  $1 \text{ вб} = 1 \text{ в} \cdot \text{с}$ .**

Кроме того, для измерения магнитного потока применяют максвелл:  $1 \text{ вб} = 10^8 \text{ мкс}$ . Соответственно  $1 \text{ мкс} = 10^{-8} \text{ вб}$ .

### ***Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца***

В 1831 году английский ученый физик в своих опытах М.Фарадей открыл явление **электромагнитной индукции**. Затем изучением этого явления занимались русские ученые Э.Х. Ленц и Б.С.Якоби.

Оно заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока, пронизывающего контур.

В настоящее время, в основе многих устройств лежит явление электромагнитной индукции, например в двигателе или генераторе электрического тока тока, в трансформаторах, радиоприемниках, и многих других устройствах.

**Электромагнитная индукция - это явление возникновения тока в замкнутом проводнике, при прохождении через него магнитного потока.**

То есть, благодаря этому явлению мы можем преобразовывать механическую энергию в электрическую - и это замечательно. Ведь до открытия этого явления люди не знали о методах получения электрического тока, кроме гальваники.

Когда проводник оказывается под действием магнитного поля, в нем возникает ЭДС, которую количественно можно выразить через закон электромагнитной индукции.

## Закон электромагнитной индукции

Электродвижущая сила, индуцируемая в проводящем контуре, равна скорости изменения магнитного потока, сцепляющегося с этим контуром.

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

В катушке, которая имеет несколько витков, общая ЭДС зависит от количества витков  $n$ :

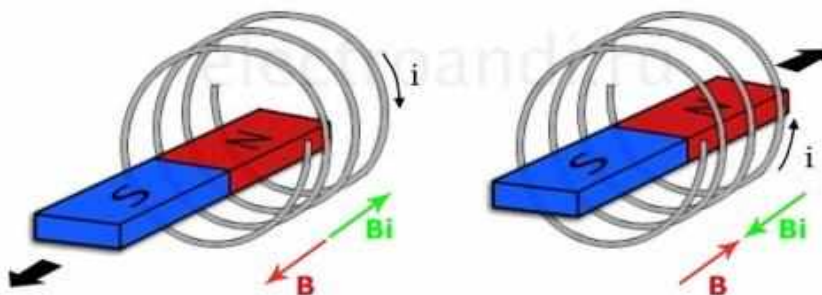
$$e = -n \frac{d\Phi}{dt}$$

Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

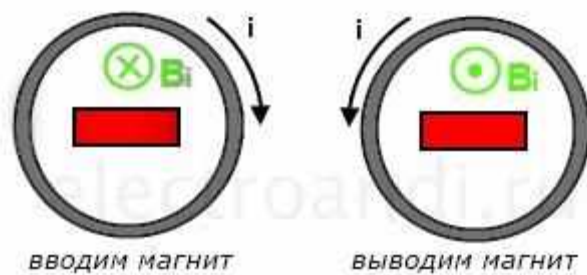
Эта формула носит название закона Фарадея.

ЭДС возбуждаемая в контуре, создает ток. Наиболее простым примером появления тока в проводнике является катушка, через которую проходит постоянный магнит. Направление индуцируемого тока можно определить с помощью правила Ленца.



## Правило Ленца

Ток, индуцируемый при изменении магнитного поля проходящего через контур, своим магнитным полем препятствует этому изменению.



В том случае, когда мы вводим магнит в катушку, магнитный поток в контуре увеличивается, а значит магнитное поле, создаваемое индуцируемым током, по правилу Ленца, направлено против увеличения поля магнита. Чтобы определить направление тока, нужно посмотреть на магнит со стороны северного полюса. С этой позиции мы будем вкручивать буравчик по направлению магнитного поля тока, то есть навстречу северному полюсу. Ток будет двигаться по направлению вращения буравчика, то есть по часовой стрелке.

В том случае, когда мы выводим магнит из катушки, магнитный поток в контуре уменьшается, а значит магнитное поле, создаваемое индуцируемым током, направлено против уменьшения поля магнита. Чтобы определить направление тока, нужно выкручивать буравчик, направление вращения буравчика укажет направление тока в проводнике – проти

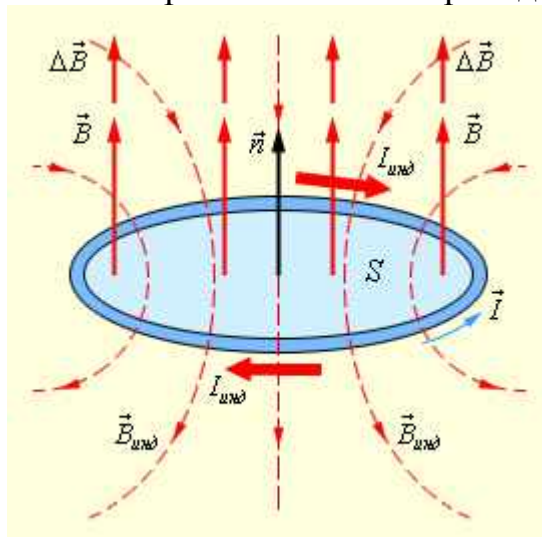


Рисунок 2. Иллюстрация правила Ленца.

в часовой стрелки.

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

Изменение магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, может происходить по двум причинам.

1. 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.
2. Возникновение ЭДС индукции объясняется действием силы Лоренца на свободные заряды в движущихся проводниках. Сила Лоренца играет в этом случае роль сторонней силы.

Рассмотрим в качестве примера возникновение ЭДС индукции в прямоугольном контуре, помещенном в однородное магнитное поле перпендикулярное плоскости контура. Пусть одна из сторон контура длиной  $l$  скользит со скоростью по двум другим сторонам (рис. 1.20.3).

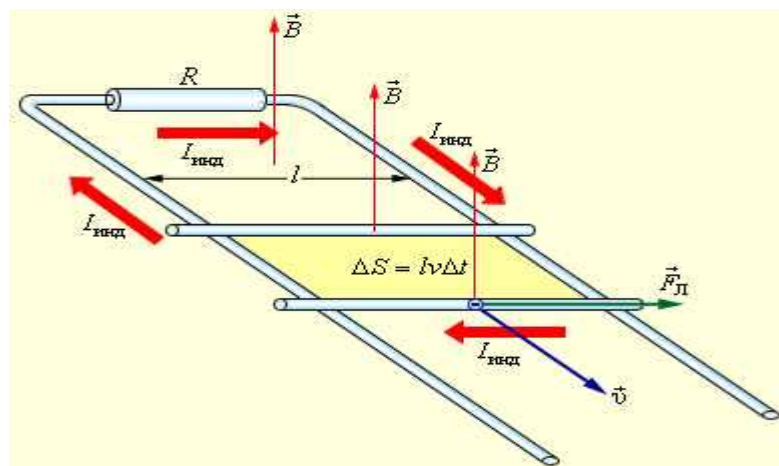


Рисунок 3. Возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике. Указана составляющая силы Лоренца, действующей на свободный электрон

На свободные заряды на этом участке контура действует сила Лоренца. Одна из составляющих этой силы, связанная с переносной скоростью зарядов, направлена вдоль проводника. Эта составляющая указана на рис.3. Она играет роль сторонней силы. Ее модуль равен

$$F_{\text{Л}} = evB$$

***Закон электромагнитной индукции:***

ЭДС индукции, возникающая в проводнике, движущемся в магнитном поле, прямо пропорциональна модулю индукции  $B$  магнитного поля, длине активной части

проводника (части, которая находится в магнитном поле), скорости проводника и синусу угла между направлением поля и направлением движения проводника, т.е.

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

Направление индукционного тока в контуре с перемещающимся стержнем может быть установлена с помощью правила правой руки: Вектор магнитной индукции входит в ладонь, большой палец указывает направление движения проводника в магнитном поле, то четыре пальца покажут направление силы тока в проводнике.

Явление электромагнитной индукции было открыто Фарадеем в августе 1831г.

В своих опытах Фарадей изменял магнитный поток через проводящую катушку, внося в нее постоянный магнит.

Опыты Фарадея позволили установить закон электромагнитной индукции (закон Фарадея), количественно определяющий ЭДС индукции в контуре:

*ЭДС электромагнитной индукции, возникающая в контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через него:*

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

Направление индукционного тока, возникающего в контуре, было определено русским физиком Ленцем в 1833г. Согласно правилу Ленца в законе Фарадея следует ставить знак минус, т.к.

*Возникающий в контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать изменение магнитного потока, вызвавшее данный ток.*