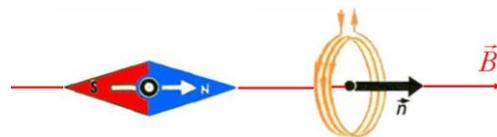


**Магнитным полем** называется особый вид материи, не воспринимаемый органами чувств человека и оказывающий силовое воздействие на магниты, проводники и контуры с током, а так же на движущиеся заряженные частицы и тела.

Основной характеристикой магнитного поля в данной точке пространства является **вектор магнитной индукции  $\vec{B}$** .

**Вектор магнитной индукции  $\vec{B}$**  – это векторная физическая величина, направление которой в данной точке поля совпадает с направлением, которое указывает в этой точке северный полюс магнитной стрелки или положительная нормаль к контуру с током.

$$[B] = [Тл], \quad \text{Тесла}$$



Магнитные поля графически изображаются с помощью **силовых линий**.

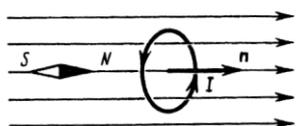
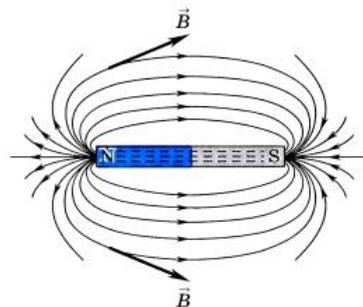
**Силовой линией магнитного поля** называется линия, касательная в каждой точке которой совпадает по направлению с вектором магнитной индукции.

Любой магнит обладает двумя полюсами. Полюс, указывающий направление на географический север, назвали северным **N** (Nord), а на юг - южным **S** (Sude).

Принято, что силовые линии выходят из **северного полюса магнита** и входят в **южный полюс магнита**.

В природе не существует магнитных зарядов, поэтому силовые линии магнитного поля всегда замкнуты.

**Однородным** называется магнитным поле, в каждой точке которого вектор магнитной индукции имеет одинаковую величину и направление.



Графически однородное магнитное поле изображается параллельными прямыми линиями, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга.

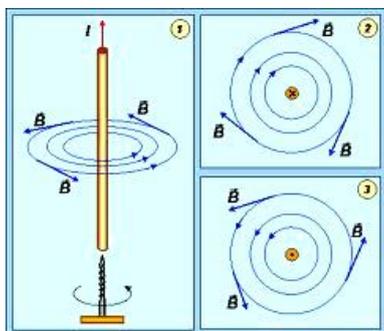
В зависимости от того, какими концами друг к другу повернуты магниты, они либо притягивались, либо отталкивались друг от друга.



одноименные магнитные полюса отталкиваются друг от друга, а разноименные притягиваются

### МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

Любой проводник с током создаёт вокруг себя магнитное поле, которое обнаруживается по его действию на железные опилки или на магнитные стрелки.



Силовые линии проводника с током имеют вид концентрических окружностей (то есть окружностей с общим центром), расположенных перпендикулярно проводнику.

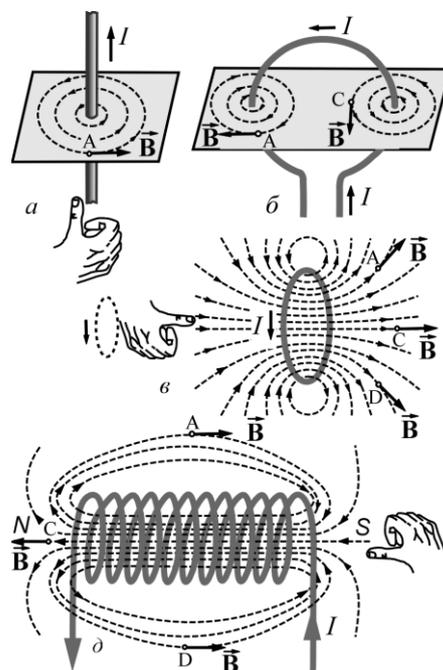
Направление силовых линий вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  определяется по **правилу буравчика**:

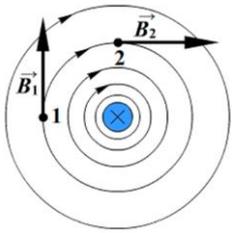
если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то

направление вращения ручки буравчика укажет направлением силовых линий магнитного поля.

или по правилу **правой руки**:

если обхватить проводник с током правой рукой так, чтобы большой палец совпадал с направлением тока в проводнике, то остальные пальцы руки укажут направление силовых линий магнитного поля этого тока.





Напомню, что вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  в каждой точке силовой линии направлен по касательной (см. рисунки).

### Принцип суперпозиции для магнитного поля

(позволяет определить характеристики результирующего магнитного поля, создаваемого несколькими источниками)

Если в пространстве имеется несколько проводников с токами, то в каждой точке пространства магнитное поле создаётся каждым из проводников в отдельности независимо от наличия остальных.

**Принцип суперпозиции:** результирующая магнитная индукция поля в каждой точке равна векторной сумме индукций, создаваемых каждым проводником с током в отдельности.

$$\vec{B}_{рез} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

### Силовое воздействие магнитного поля на проводник с током

Опыт показывает, что на проводник с током, помещённый в магнитное поле, действует сила, которую назвали **силой Ампера**  $F_A$ .

Силу Ампера  $F_A$ , с которой магнитное поле действует на проводник с током, можно определить по **Закону Ампера**:

Сила Ампера равна произведению вектора магнитной индукции  $B$  на силу тока в проводнике  $I$ , длину прямолинейного участка проводника  $l$  и на синус угла  $\alpha$  между вектором магнитной индукцией и направлением тока в проводнике:

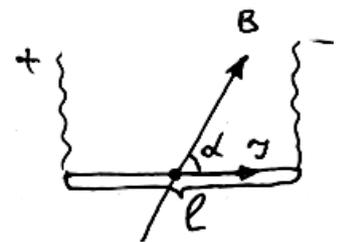
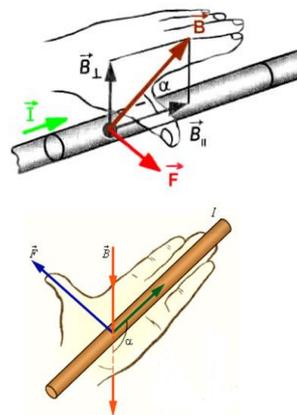
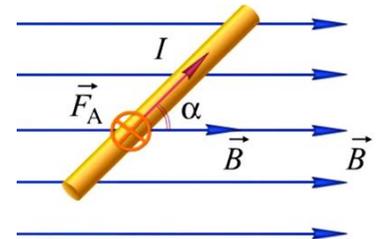
$$F_A = IBl \sin \alpha,$$

где  $I$  – сила тока в проводнике, А;  $B$  – магнитная индукция, Тл;

$l$  – длина проводника, м;  $\alpha$  – угол между вектором  $\vec{B}$  и направлением силы тока в проводнике.

Направление силы Ампера определяется по **правилу левой руки**:

если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику составляющая вектора магнитной индукции  $B$  входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца руки были направлены по току, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы Ампера, действующей на проводник с током.



Силовое воздействие на проводник с током в магнитном поле используется во всех электроизмерительных приборах и электрических машинах.

### Силовое воздействие магнитного поля на движущиеся заряды

Опыт показывает, что на движущиеся в магнитном поле заряды, действует сила, которую назвали **силой Лоренца**.

Силу Лоренца  $F_L$ , с которой магнитное поле действует движущийся заряд, можно определить по формуле:

$$F_L = |q|vB \sin \alpha,$$

где  $B$  – магнитная индукция, Тл;  $q$  – заряд, Кл,

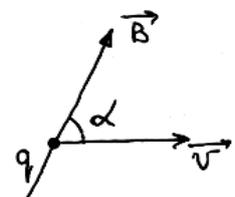
$v$  – скорость заряда, м/с;  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$

Направление силы Лоренца определяется:

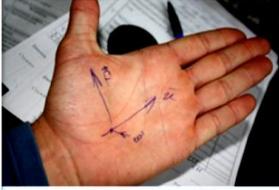
- для положительных зарядов по правилу **ЛЕВОЙ**

- для отрицательных зарядов по правилу **ПРАВОЙ**

✕ РУКИ,  
 ⊓ РУКИ.



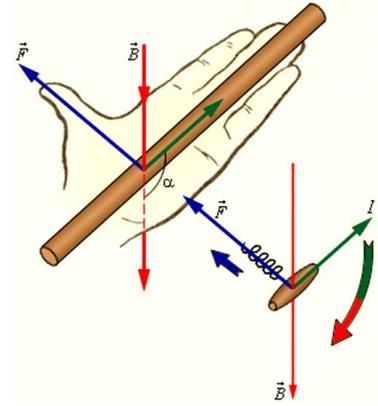
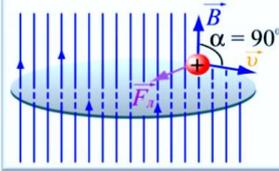
## Правило левой руки



Направление **силы Лоренца** можно определить для положительных зарядов по **правилу левой руки**:

если левую руку расположить так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь, а четыре пальца вытянутой руки были направлены по скорости заряда, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец руки покажет направление силы Лоренца

(для отрицательных зарядов направление силы Лоренца определяется по **правилу правой руки**)



### Движение заряженных частиц в магнитном поле

- если заряженная частица влетает в однородное магнитное поле параллельно силовым линиям этого поля, то сила Лоренца на неё действовать не будет (так как  $\alpha = 0$ , следовательно  $\sin 0 = 0$ ) и частица будет двигаться вдоль силовой линии,
- если заряженная частица влетает в магнитное поле перпендикулярно силовым линиям этого поля, то на неё будет действовать максимальная по величине сила Лоренца (так как  $\alpha = 90^\circ$ , то  $\sin 90 = 1$ ), направленная перпендикулярно силовым линиям поля и частица будет двигаться по окружности,
- если заряженная частица влетает в магнитное поле под некоторым углом  $\alpha \neq 0$  к силовым линиям этого поля, то частица будет двигаться по винтовой траектории вдоль силовой линии магнитного поля.

### Поток магнитного поля через замкнутую поверхность

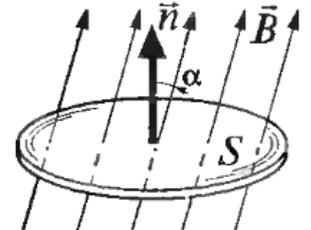
**Потоком магнитного поля** через любую поверхность называется скалярная величина, равная

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

где  $\Phi$  – магнитный поток,  $[\Phi] = [B\bar{b}]$  - Вебер

$S$  – площадь контура,  $m^2$ ;  $\vec{n}$  - вектор положительной нормали к плоскости контура,

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



### Явление электромагнитной индукции

**Электромагнитной индукцией** называется явление возникновения в проводящем контуре электрического тока при изменении магнитного потока через поверхность этого контура. (электрический ток в контуре возникает благодаря появлению электродвижущей силы (ЭДС индукции) во время изменения магнитного потока)

**Закон Фарадея:** ЭДС электромагнитной индукции  $\mathcal{E}_{инд}$ , возникающая в замкнутом контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность этого контура и существует в течение всего времени изменения магнитного потока:

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

где  $[\mathcal{E}_{инд}] = [B]$  - ЭДС индукции, Вольт;

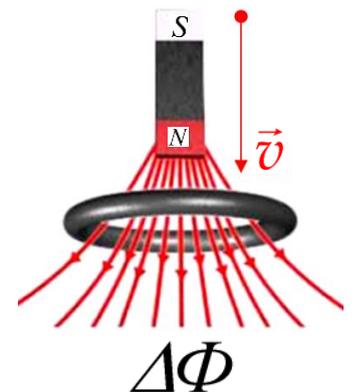
$\Delta\Phi = \Phi_{конечный} - \Phi_{начальный}$  - изменение магнитного потока через контур, Вб;

$\Delta t$  - время изменения магнитного потока, с

(знак минус в законе Фарадея позволяет через правило Ленца определить направление индукционного тока в замкнутом контуре).

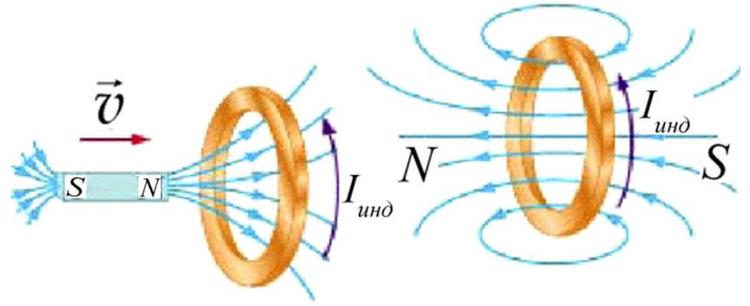
Если магнитное поле пронизывает катушку из  $N$  одинаковых витков, то возникающая в катушке общая ЭДС в

$N$  раз больше, чем ЭДС в одном отдельно взятом витке:  $\mathcal{E}_{инд} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$



Направление индукционного тока зависит от того, возрастает или убывает магнитный поток, пронизывающий контур, а также от направления магнитного поля относительно контура и определяется по **правилу Ленца**:

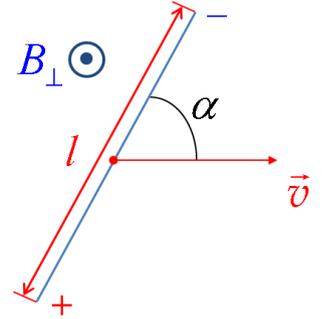
возникающий в замкнутом контуре индукционный ток всегда имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через площадь, ограниченную этим контуром, стремится компенсировать изменение магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.



**ЭДС индукции, возникающая в прямолинейном проводнике, движущемся в магнитном поле**  
Опыт показывает, что в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает между его концами ЭДС индукции, которую можно определить по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = vB_{\perp}l \sin \alpha,$$

где  $B_{\perp}$  - перпендикулярная составляющая вектора магнитной индукции к плоскости движения проводника, Тл  
 $v$  - скорость проводника, м/с  
 $l$  - длина проводника, м  
 $\alpha$  - угол между вектором  $\vec{v}$  и осью проводника.



### Явление самоиндукции

Если в замкнутом контуре течёт ток, то его магнитное поле пронизывает поверхность контура и создаёт собственный магнитный поток  $\Phi_{\text{собст}}$ , через поверхность этого контура.

Наблюдения показывают, что собственный магнитный поток прямо пропорционален силе тока в контуре

$$\Phi_{\text{собст}} = LI,$$

где коэффициент пропорциональности обозначается буквой  $L$  и называется **индуктивностью контура**.  
Единица измерения индуктивности:  $[L] = \text{Гн}$ , Генри.

Индуктивность контура зависит только от его геометрических размеров и формы, а также от магнитных свойств среды, в которой он находится и не зависит от материала контура и величины тока в нём.

Если ток в этом контуре начнёт изменяться, то будет меняться и собственный магнитный поток, что вызовет появление ЭДС электромагнитной индукции, которую называют **самоиндукцией**.

**Самоиндукцией** называется явление возникновения в замкнутом проводящем контуре ЭДС индукции при изменении собственного магнитного потока через поверхность этого контура (наблюдается в результате изменения величины силы тока в этом проводящем контуре).

ЭДС самоиндукции определяют по закону Фарадея:

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -\frac{\Delta \Phi_{\text{собст}}}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где  $[\mathcal{E}_{\text{сам}}] = [V]$  - ЭДС самоиндукции, Вольт,  $L$  - индуктивность контура или соленоида, Гн (Генри)

$\Delta \Phi_{\text{собст}} = \Phi_{\text{конечный}} - \Phi_{\text{начальный}}$  - изменение собственного магнитного потока, Вб

$\Delta t$  - время изменения собственного магнитного потока, с,  $\Phi_{\text{собст}} = LI$  - собственный магнитный поток контура с током;

$\Delta \Phi_{\text{собст}} = L \Delta I$  - изменение собственного магнитного потока контура с током

### Работа сил магнитного поля по перемещению проводника или контура с током

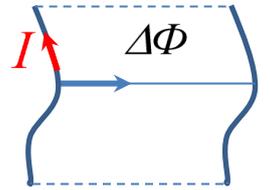
$$A_{мп} = I \Delta \Phi,$$

где  $I$  – сила тока в проводнике или контуре,  $A$  ;

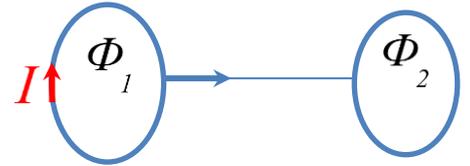
$\Delta \Phi = \Phi_{\text{конечный}} - \Phi_{\text{начальный}}$  - изменение магнитного потока через контур,  $B\phi$

Возможны два случая:

1. Если перемещается проводник с током, то  $\Delta \Phi$  - это поток магнитного поля через поверхность, которую «заметает» проводник при своём движении,



2. Если перемещается контур с током, то  $\Delta \Phi = \Phi_{\text{конечный}} - \Phi_{\text{начальный}}$  - это изменение потока магнитного поля через поверхность контура, при его движении.



### Энергия магнитного поля контура или соленоида (катушки индуктивности) с током

Когда в контуре или соленоиде течёт ток, то вокруг них возникает магнитное поле, энергию которого можно определить по формуле:

$$W_{мп} = \frac{LI^2}{2}$$

где  $W_{мп}$  - энергия магнитного поля,  $Dжс$ ;

$L$  - индуктивность контура или соленоида,  $Гн$ ;

$I$  - сила тока в контуре или соленоиде,  $A$ .

