

Опыт показывает, что подобно тому, как в пространстве, окружающем электрические заряды, возникает электрическое поле (являющееся средой взаимодействия между ними), так в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты, возникает силовое поле, называемое магнитным.

Магнитное поле возникает внутри и вокруг проводников с током, при движении заряженных частиц и тел, а также при изменении электрического тока.

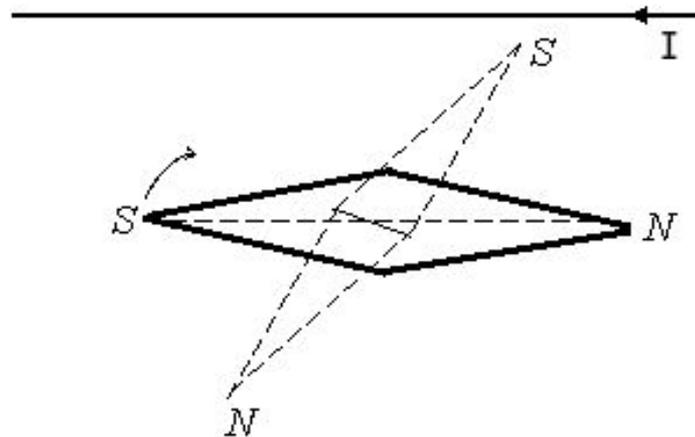
Наличие такого поля обнаруживается по силовому воздействию на внесенные в него проводники с током или постоянные магниты.

Название «магнитное поле» связывают с ориентацией магнитной стрелки под действием силового поля, создаваемого током.

Это явление впервые было обнаружено датским физиком Х. Эрстедом в 1820 г.

При пропускании по прямолинейному горизонтальному проводнику постоянного тока силой  $I$  находящаяся под ним магнитная стрелка поворачивается вокруг своей вертикальной оси, стремясь расположиться перпендикулярно проводнику с током.

Ось стрелки тем точнее совпадает с этим направлением, чем больше сила тока и чем слабее влияние магнитного поля Земли.



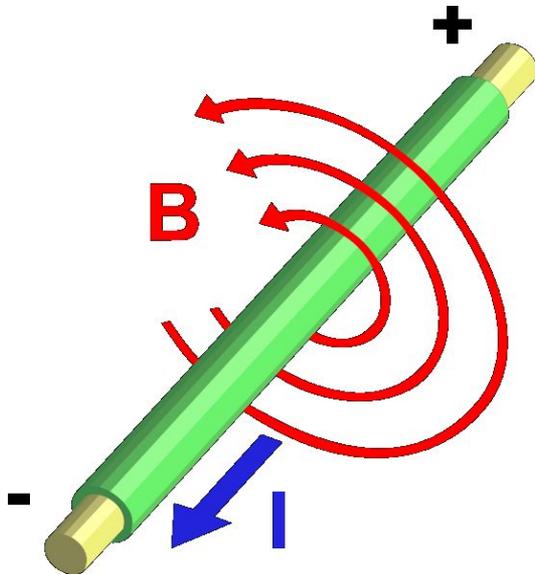
Эрстед обнаружил, что направление поворота северного полюса (N) стрелки под действием электрического тока изменяется на противоположное при изменении направления тока в проводнике.

Для наглядности магнитное поле, как и электрическое принято изображать магнитными линиями.

Линии магнитного поля всегда замкнуты.

Основной характеристикой магнитного поля является его сила, определяемая вектором магнитной индукции  **$\mathbf{B}$** . Магнитная индукция – величина векторная.

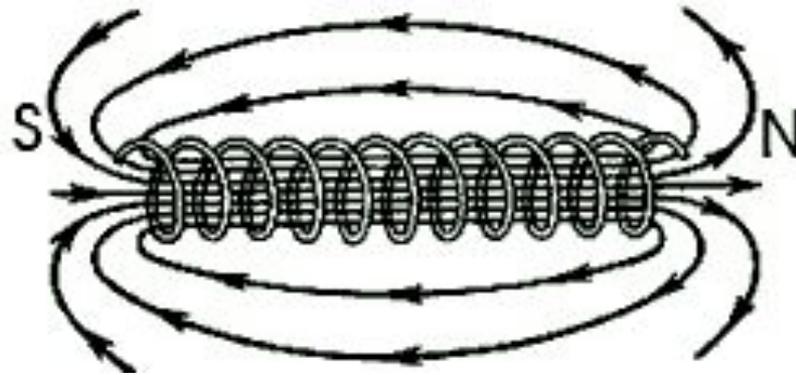
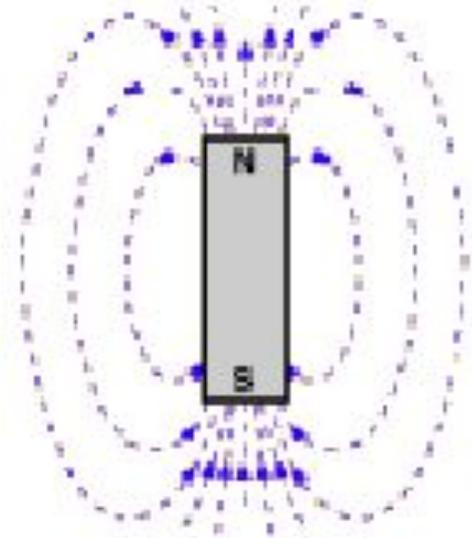
Для линейного проводника с током направление магнитных линий можно определить по правилу буравчика.



### Правило буравчика.

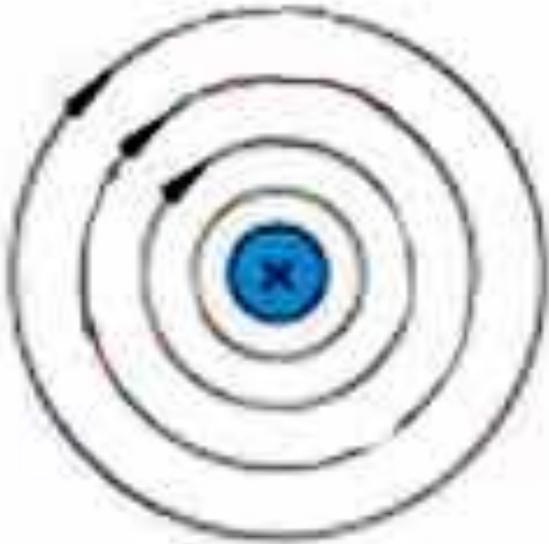
Если поступательное движение буравчика совместить с направлением электрического тока в проводе, то направление вращения рукоятки буравчика укажет направление магнитных линий.

В случае витка или катушки направление линий поля определяется следующим образом: если направление вращения рукоятки совместить с направлением движения электрического тока в витке (катушке), то направление поступательного движения буравчика укажет направление магнитных линий, пронизывающих поверхность ограниченную контуром.

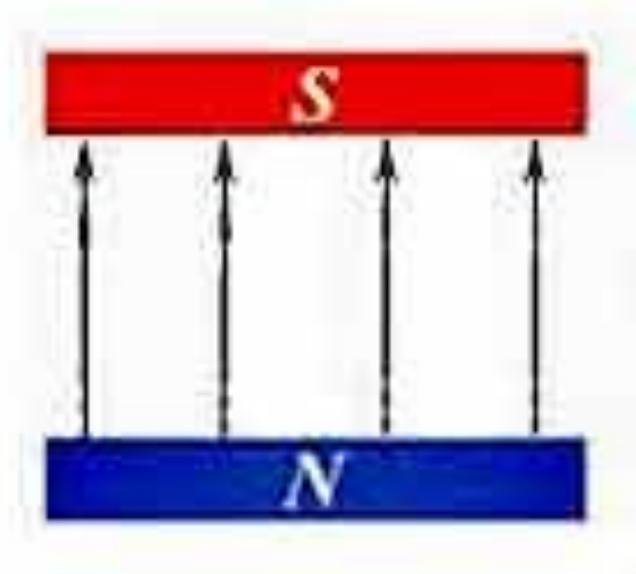


**О.** Магнитное поле называется однородным, если во всех точках пространства поле имеет одинаковое направление и интенсивность.

Неоднородное магнитное поле



Однородное магнитное поле



**О.** Свойство электрического тока возбуждать магнитное поле характеризуется магнитодвижущей силой (м.д.с.)  $\rightarrow \mathbf{F}_m$

М.д.с. Вызывает магнитное поле (магнитный поток) подобно тому, как э.д.с. вызывает электрический ток в цепи.

В СИ м.д.с. Принимается численно равной силе тока, вызывающего магнитное поле.  $\mathbf{F}_m = I$

Если ток проходит по катушке с числом витков –  $\omega$ , то

$$\mathbf{F}_m = \omega I$$

$$\text{Размерность } [F] = [I] = A$$

М.д.с. В симметричных полях (например кольцевая катушка) равномерно распределяется вдоль магнитной линии.

О. Доля м.д.с. На единицу длины магнитной линии называется напряженностью магнитного поля – **H**.

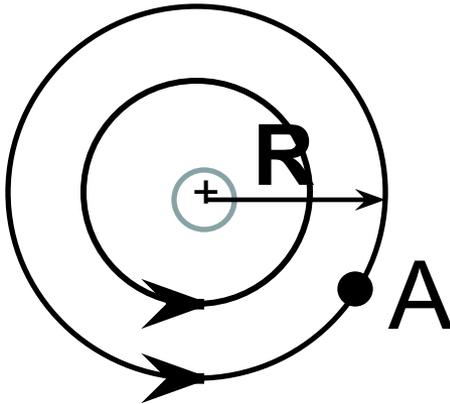
Напряженность магнитного поля **H** в заданной точке пространства зависит от силы тока, формы проводника, и в однородной среде не зависит от свойств среды.

Напряженность магнитного поля является величиной векторной.

$$[H] = [F_m/L] = A/m$$

Используется другая величина – Эрстэд. **1Э = 80 A/m**

**О.** Полным током называется алгебраическая сумма токов, пронизывающая поверхность ограниченную замкнутым контуром.



Для симметричного поля в точке A на расстоянии R от проводника:

$$H = I/L = I/2\pi a$$

$$I = H2\pi a = HL = F_m \text{ (м.д.с.)}$$

Если внутри контура расположено несколько проводников, то

$$\Sigma I = I; \Sigma I = F_m$$

Если напряженность поля на различных участках магнитной линии различна, то м.д.с. находится как сумма произведений **HL** всех участков

$$F_m = \Sigma HL$$

При внесении внутрь катушки с током стального сердечника интенсивность поля внутри катушки возрастает за счет молекулярных токов сердечника.

**О.** Интенсивность магнитного поля в точке с учетом влияния среды характеризуется магнитной индукцией - **B**.

**B =  $\mu_a H$**  ;  $\mu_a$  - абсолютная магнитная проницаемость среды.

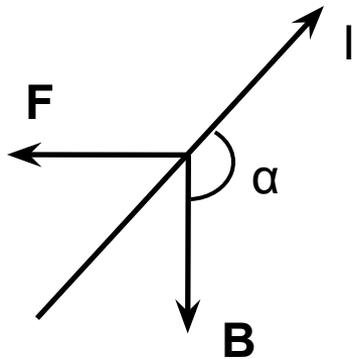
Интенсивность магнитного поля и магнитная индукция зависят от среды, в которой существует.

По сравнению с вакуумом возрастает – парамагнетики.

По сравнению с вакуумом уменьшается – диамагнетики.

**О.** Произведение магнитной индукции **B** однородного магнитного поля и площади площадки перпендикулярной к вектору магнитной индукции называется магнитным потоком  **$\Phi = BS$**

Провод длиной  $L$  расположенный в магнитном поле перпендикулярно линиям магнитного поля испытывает действие электромагнитной силы со стороны поля:



$$F = IBL$$

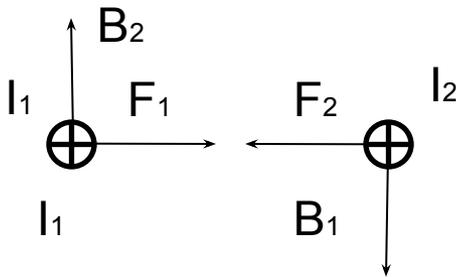
В общем случае ( $\alpha \neq 90^\circ$ )  $F = IBL \sin \alpha$

Если провод под действием силы переместится на расстояние  $b$ , то он пересечет магнитный поток  $\Phi = BS = BLb \rightarrow$  электромагнитная сила совершит работу:

$$A = Fb = IBLb = I\Phi$$

**О.** Работа, совершаемая силами магнитного поля по перемещению проводника с током равна произведению величины силы тока в проводе и пересеченного магнитного потока.

Т.к. вокруг каждого из проводов с током существует магнитное поле, следовательно на каждый из проводов действует сила со стороны поля, созданного током другого провода.

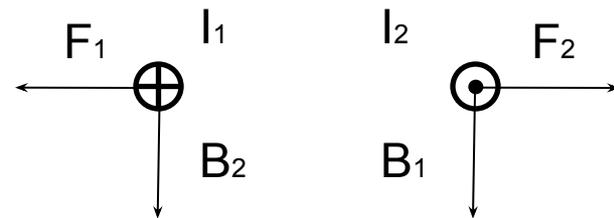


$$B_1 = \mu_a I_1 / 2\pi a \quad B_2 = \mu_a I_2 / 2\pi a$$

Сила действующая на первый провод:  
 $F_1 = I_1 B_2 L = \mu_a I_1 I_2 L / 2\pi a$

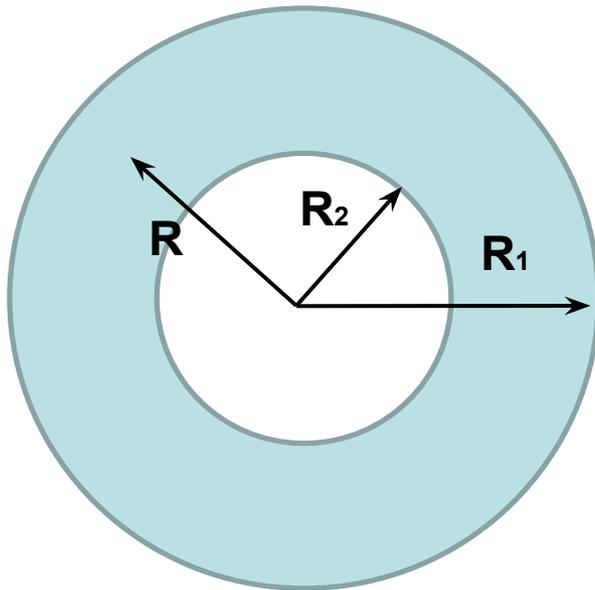
Сила действующая на второй провод:  
 $F_2 = I_2 B_1 L = \mu_a I_1 I_2 L / 2\pi a$

Следовательно  $F_1 = F_2$



Катушку используют для концентрации магнитного поля в определенной части пространства.

Увеличение магнитной индукции достигается путем увеличения числа витков катушки ( $\omega$ ) и размещением её на стальном сердечнике.



Поверхность ограниченная окружностью  $R$  пронизывается полным током  $I\omega$

Напряженность во всех точках серединной линии  $F_m = HL = H2\pi R$ .

По закону полного тока:  $I\omega = HL \rightarrow H = I\omega/L$

Магнитная индукция:  $\mathbf{B} = \mu_a \mathbf{H} = \mu_a I \omega / L$

При  $R_1 - R_2 \ll R_1$   $\Phi = BS = \mu_a I \omega S / L$ ,

$S$  – площадь поперечного сечения катушки Т.к.  $I \omega = F_m$

$$\Phi = \frac{I \omega}{L / \mu_a S}$$

Закон Ома для магнитной цепи

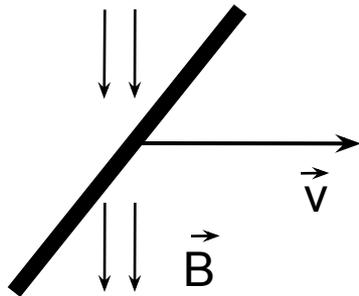
$\Phi$  – магнитный поток

$F_m$  - М.Д.С.

$R_m = L / (\mu_a S)$  – Сопротивление магнитной цепи

При движении провода со скоростью  $v$  с той же скоростью перемещаются свободные электроны и положительно заряженные ионы.

Если провод перемещается в магнитном поле, то на каждую частицу со стороны магнитного поля действует электромагнитная сила.



Под действием этих сил свободные электроны приходят в движение – перемещаться на один конец провода, на другом образуется избыточный положительный заряд.

Разделение зарядов прекратится, если электромагнитные силы уравновесятся электрическими силами притяжения.

Под действием электромагнитных сил в проводнике возникает э.д.с. Электромагнитной индукции.

$E = \mathcal{E}L$ ,  $\mathcal{E}$  – напряженность электрического поля

Т.к.  $\mathcal{E} = F_m/L$ , сила действующая на электрон  $F = BvL \rightarrow E = BLv$

**О.** Э.д.с. Электромагнитной индукции пропорциональна магнитной индукции поля, в котором движется проводник, длине проводника и скорости его движения в направлении, перпендикулярном магнитным линиям.

Если проводник движется под некоторым углом  $\alpha$  к вектору магнитной индукции:

$E = BLv \sin \alpha$

При перемещении проводника со скоростью  $v = \Delta b / \Delta t$  :

$E = BLv = BL (\Delta b / \Delta t)$ , т.к.  $L \Delta b = \Delta S$ ,  $B \Delta S = \Phi$  – магнитный поток, пересеченный за время  $\Delta t$

$$E = BL (\Delta b / \Delta t) = \Delta \Phi / \Delta t$$

**О.** Наведенная в проводнике э.д.с. Электромагнитной индукции равна скорости пересечения проводником магнитного потока.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Электромагнитная индукция  
Э.д.с. Наведенная в контуре