

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.

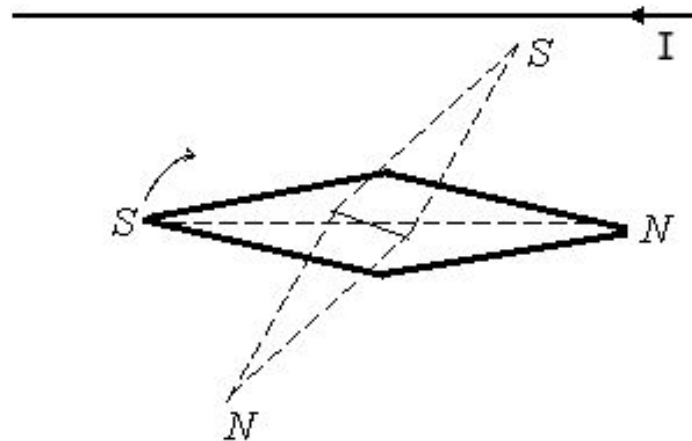
Наличие такого поля обнаруживается по силовому воздействию на внесенные в него проводники с током или постоянные магниты.

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.



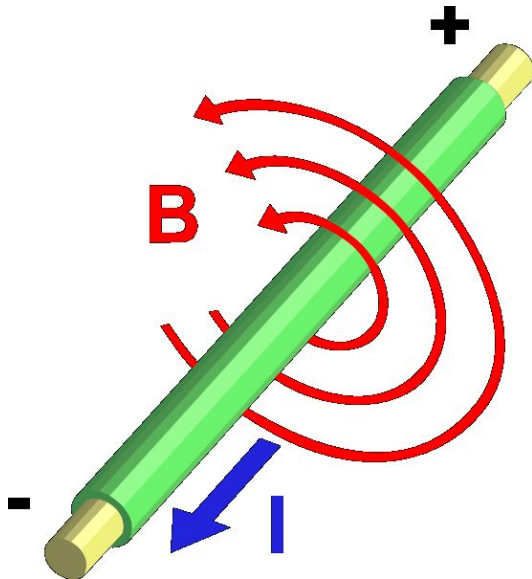
Эрстед обнаружил, что направление поворота северного полюса (N) стрелки под действием электрического тока изменяется на противоположное при изменении направления тока в проводнике.

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.

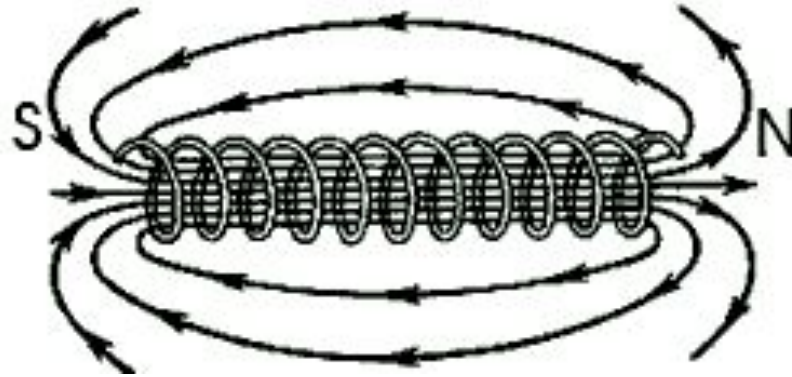
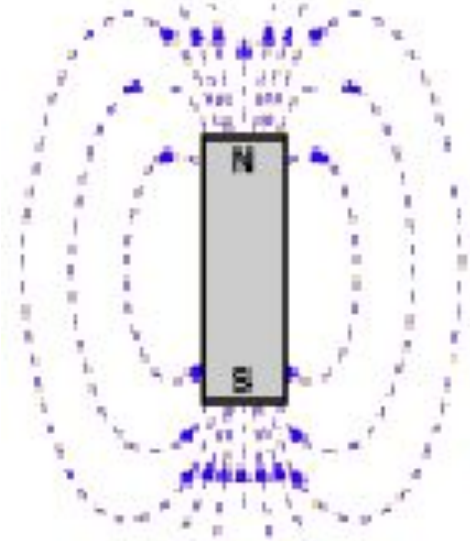
Для линейного проводника с током направление магнитных линий можно определить по правилу буравчика.



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.

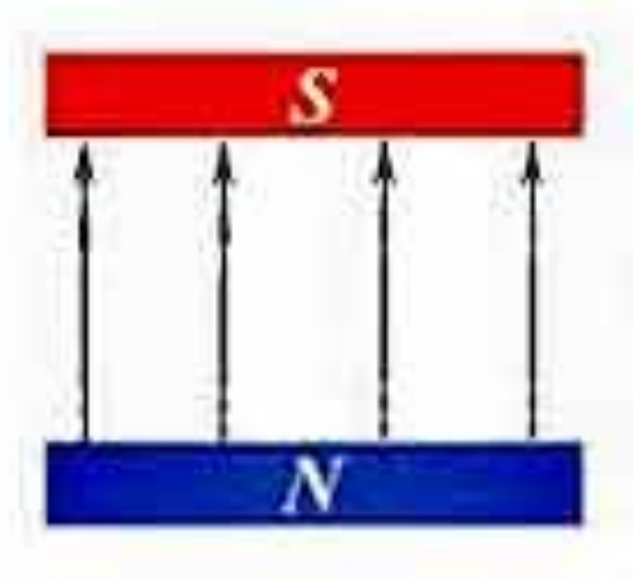


О. Магнитное поле называется однородным, если во всех точках пространства поле имеет одинаковое направление и интенсивность.

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 – ω , то

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

$$\text{Размерность } [F] = [I] = \text{А}$$

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**.

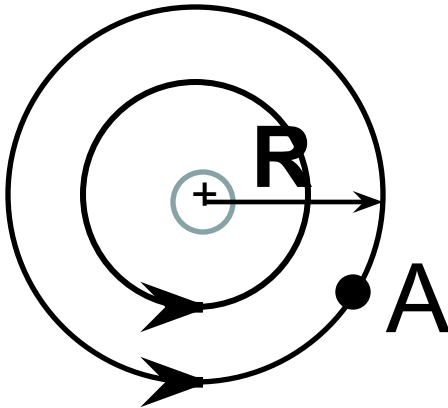
Напряженность магнитного поля **H** в заданной точке пространства зависит от силы тока, формы проводника, и в однородной среде не зависит от свойств среды.

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

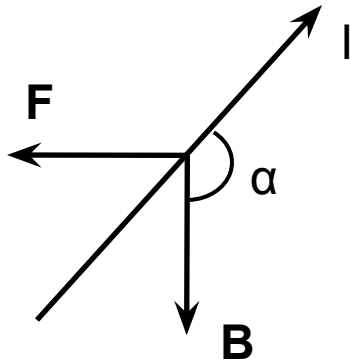
Интенсивность магнитного поля и магнитная индукция зависят от среды, в которой существует.

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:



$$F = IBL$$

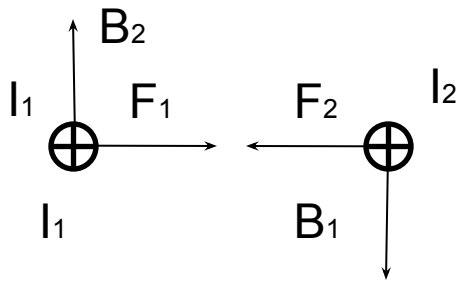
В общем случае ($\alpha \neq 90^\circ$) $F = IBL \sin \alpha$

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.

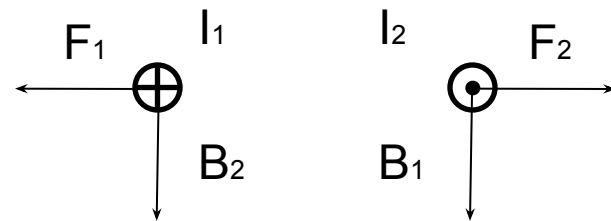


$$B_1 = \mu_a I_1 / 2\pi a \quad B_2 = \mu_a I_2 / 2\pi a$$

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

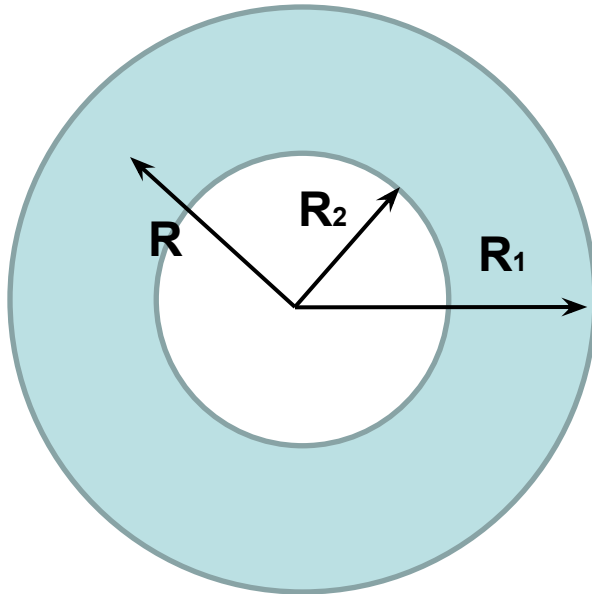
Сила действующая на второй провод:
 $F_2 = I_2 B_1 L = \mu_a I_1 I_2 L / 2\pi a$

Следовательно $F_1 = F_2$



Катушку используют для концентрации магнитного поля в определенной части пространства.

Увеличение магнитной индукции достигается путем увеличения числа витков катушки (ω) 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

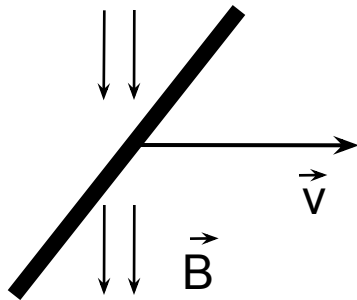
Φ – магнитный поток

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 α 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 Δt

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

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



ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Электромагнитная индукция
Э.д.с. Наведенная в контуре