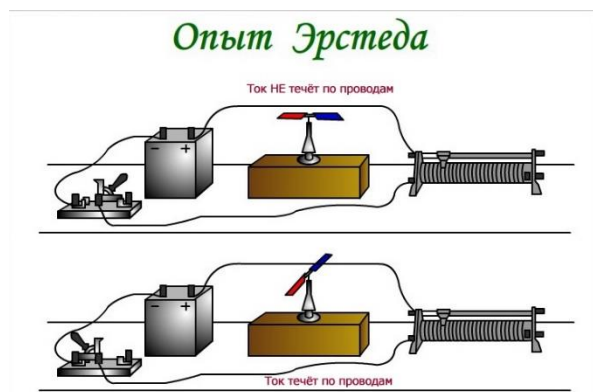


Магнитное поле – особая форма материи, существующая вокруг движущихся электрических зарядов (токов).

Магнитное поле существует вокруг постоянных магнитов, проводников с током. Магнитное поле изучают по его действию на магнитную стрелку либо проводник с током или движущиеся заряженные

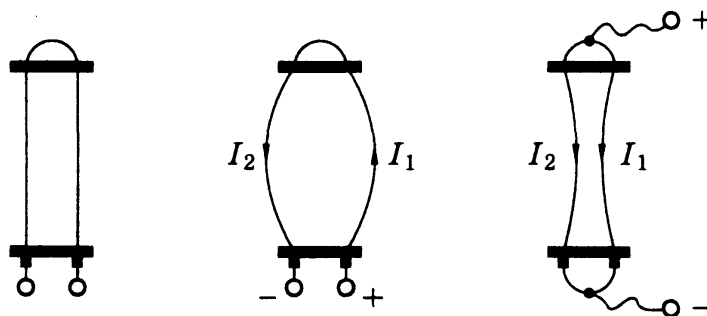


частицы.

В 1820 году датский ученый Х. Эрстед обнаружил магнитное поле вокруг прямого проводника с током. Так было показано, что вокруг проводника с током существует магнитное поле.

Опыт Эрстеда показал, что между электрическим и магнитным полем есть взаимосвязь.

Опыт Ампера по взаимодействию двух параллельных проводников с током: если токи в проводниках текут в одном направлении, то проводники притягиваются, если токи в проводниках текут в противоположных направлениях, то они отталкиваются.



Свойства магнитного поля:

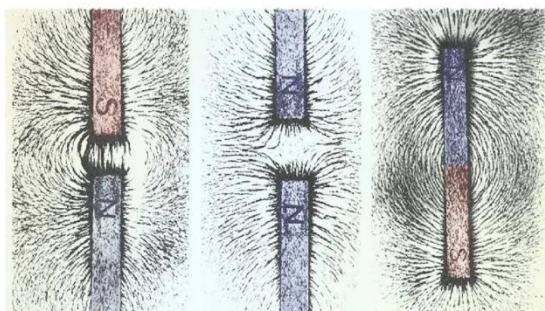
1. Магнитное поле – часть материи, оно существует независимо от нашего сознания;
2. Источник магнитного поля – электрический ток, также магнитное поле можно обнаружить по его действию на ток;
3. Магнитное поле – вихревое (т.е. его силовые линии замкнуты);
4. Магнитное поле не является потенциальным. Его работа на замкнутой траектории может быть не равна нулю.

Постоянные магниты. Взаимодействие магнитов. Линии магнитного поля

Постоянные магниты – это тела, длительное время сохраняющие состояние намагниченности.

Области магнита, где обнаруживается самое сильное магнитное взаимодействие, называется полюсами магнита. У магнита два полюса: **северный (N)** и **южный (S)**. **Одноименные** полюса магнита – **отталкиваются**, **разноименные** полюса магнита – **притягиваются**. Разделить полюса магнита нельзя, т.е. если разделить магнит пополам, то у каждой части вновь будет два полюса.

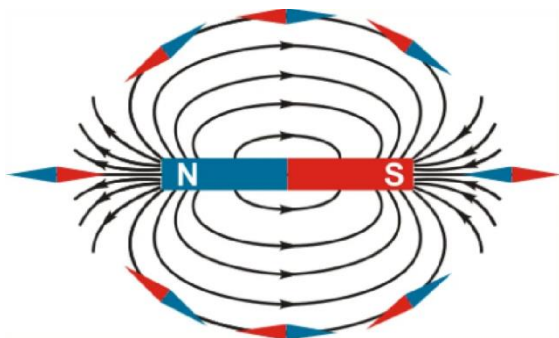
Картинки магнитного поля постоянного магнита



Основное свойство магнитов: притягивать тела из железа или его сплавов (например, стали). При этом само железо, помещенное в магнитное поле, намагничивается. В частности, железные *опилки*, помещенные в магнитное поле намагничиваются и *ведут себя как маленькие магнитные стрелки*. Это можно использовать для исследования магнитного поля.

Железные опилки, помещенные в магнитное поле располагаются вдоль линий. Эти линии называются линиями магнитного поля.

Магнитные линии (линии магнитного поля) - линии, вдоль которых располагаются оси маленьких магнитных стрелок, помещенных в магнитное поле.



Линии магнитного поля:

1. Можно провести через любую точку пространства, в котором существует магнитное поле;
2. Являются замкнутыми линиями;
3. Являются непрерывными.

За направление магнитной линии в какой-либо её точке условно принимают направление, которое указывает северный полюс маленькой магнитной стрелки, помещённой в эту точку.

В тех областях пространства, где магнитное поле более сильное, магнитные линии изображают ближе друг к другу, т. е. гуще, чем в тех местах, где поле слабее.

Если **магнитное поле неоднородно** (т.е. сила, с которой поле действует на помещённую в это поле магнитную стрелку, в разных точках поля может быть различной как по модулю, так и по направлению), то *линии магнитного поля искривлены, их густота меняется от точки к точке.*

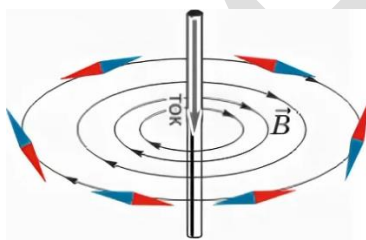
Если **магнитное поле однородно** (т.е. сила, с которой поле действует на помещённую в это поле магнитную стрелку, в разных точках поля одинакова как по модулю, так и по направлению), то *линии магнитного поля параллельны друг другу и расположены с одинаковой густотой.*

Важно! Вне магнита магнитные линии выходят из северного полюса и входят в южный полюс, т.е. направлены «от севера к югу».

Существование магнитного поля у постоянных магнитов объясняется гипотезой, которую выдвинул Ампер: внутри молекул, из которых состоит магнит, циркулируют элементарные электрические токи. Если эти токи ориентированы определенным образом, то их действия складываются и тело проявляет магнитные свойства. Если эти токи расположены беспорядочно, то их действие взаимно компенсируется и тело не проявляет магнитных свойств.

Магнитное поле проводника с током

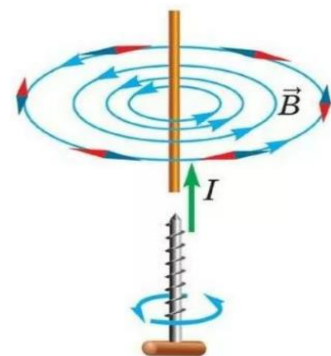
Электрический ток, протекающий по проводнику с током, создает в окружающем его пространстве магнитное поле. Чем больше ток, проходящий по проводнику, тем сильнее возникающее вокруг него магнитное поле.

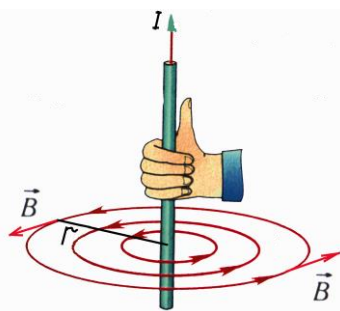


Магнитные силовые линии этого поля располагаются по концентрическим окружностям, в центре которых находится проводник с током.

Направление линий магнитного поля вокруг проводника с током всегда находится в строгом соответствии с направлением тока, проходящего по проводнику.

Направление магнитных силовых линий можно определить **по правилу буравчика**: если поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то вращение его рукоятки укажет направление силовых линий магнитного поля вокруг проводника.



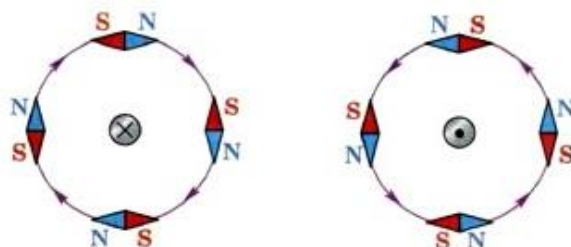


Направление магнитных силовых линий можно определить **по правилу правой руки**: если обхватить проводник правой рукой так, чтобы отставленный в сторону большой палец указывал направление тока, то остальные пальцы покажут направление огибающих проводник линий магнитного поля, создаваемого этим током.

Важно! При изменении направления тока линии магнитного поля также изменяют свое направление.

По мере удаления от проводника магнитные силовые линии располагаются реже. Следовательно, магнитное поле прямого проводника с током неоднородное.

Направление тока в проводнике принято изображать точкой, если ток идет к нам, и крестиком, если ток направлен от нас.



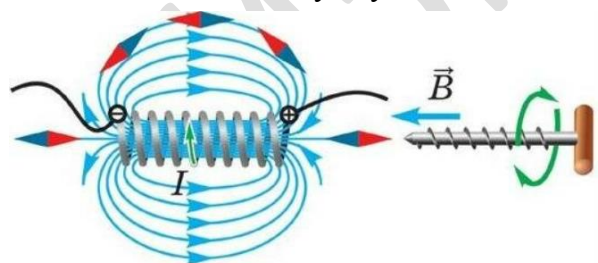
Магнитное поле катушки с током

Для получения сильных магнитных полей при небольших токах обычно увеличивают число проводников с током и выполняют их в виде ряда витков; такое устройство называют катушкой.

В проводнике, согнутом в виде витка, магнитные поля, образованные всеми участками этого проводника, будут внутри витка иметь одинаковое направление. Поэтому интенсивность магнитного поля внутри витка будет больше, чем вокруг прямолинейного проводника. При объединении витков в катушку магнитные поля, созданные отдельными витками, складываются. При этом концентрация силовых линий внутри катушки возрастает, т. е. магнитное поле внутри нее усиливается.

Чем больше ток, проходящий через катушку, и чем больше в ней витков, тем сильнее создаваемое катушкой магнитное поле. Магнитное поле снаружи катушки также складывается из магнитных полей отдельных витков, однако магнитные силовые линии располагаются не так густо, вследствие чего интенсивность магнитного поля там не столь велика, как внутри катушки.

Магнитное поле катушки исследовал М.А. Ампер. Он установил, что магнитное поле катушки с током полностью идентично магнитному полю полосового постоянного магнита: силовые магнитные линии выходят из одного конца катушки и входят в другой ее конец, т.е. у катушки два полюса, как и у обычного магнита. Катушка с током представляет собой искусственный электрический магнит. Для усиления магнитного поля в катушку вставляют стальной сердечник, такую катушку называют *электромагнитом*.

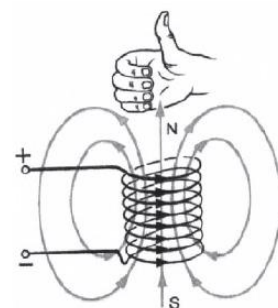


индукции.

Направление линий магнитной индукции катушки с током также находят по **правилу правой руки**: если мысленно обхватить катушку с током ладонью правой руки так, чтобы четыре пальца указывали направление тока в ее витках, тогда большой палец укажет направление вектора магнитной индукции.

Катушка, длина которой превышает ее диаметр, называется соленоидом. Соленоид представляет интерес прежде всего, потому что внутри него магнитное поле – однородное.

Для определения направления линий магнитного поля, создаваемого витком или катушкой, можно использовать также **правило буравчика**: если вращать ручку буравчика по направлению тока в витке или катушке, то поступательное движение буравчика укажет направление вектора магнитной



Индукция магнитного поля. Сила Ампера

На проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила, которая называется **сила Ампера**. Этот факт позволяет ввести силовую характеристику магнитного поля – *вектор магнитной индукции* $\vec{B}$ по следующим правилам:

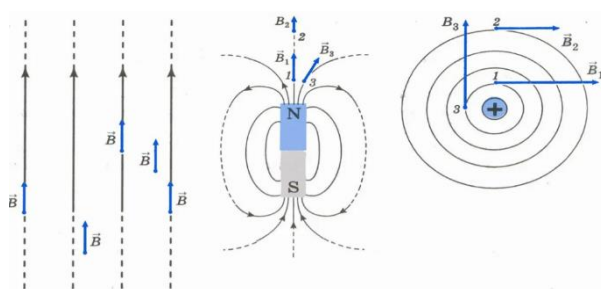
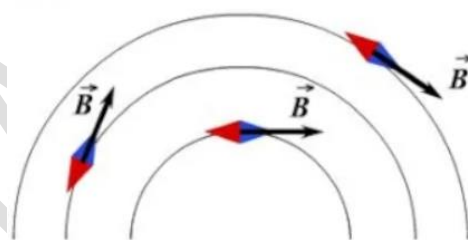
1. *Модуль вектора магнитной индукции* равен отношению максимального значения силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током, к силе тока в проводнике I и его длине l

$$B = \frac{F_{\max}}{I \cdot l}.$$

(сразу заметим, что это отношение для данной конкретной точки поля не будет зависеть ни от силы тока в проводнике, ни от длины участка проводника, именно поэтому это отношение можно принять за характеристику магнитного поля в том месте, где расположен участок проводника)

2. *Направление вектора магнитной индукции* совпадает с направлением от южного полюса к северному полюсу магнитной стрелки (направление, которое указывает северный полюс магнитной стрелки), свободно установившейся в магнитном поле.

Единица измерения в СИ – тесла (Тл). Физический смысл: 1 Тл – это индукция такого магнитного поля, в котором на каждый метр длины проводника при силе тока 1 А действует максимальная сила 1 Н.



Линия магнитной индукции – это воображаемая линия, в любой точке которой вектор магнитной индукции направлен по касательной к ней.

Важно! Линии магнитного поля это и есть линии магнитной индукции. Зная, картину линий того или иного магнитного поля (по сути картину линий магнитной индукции), можно определить направление вектора магнитной индукции.

Поле, в каждой точке которого вектор магнитной индукции одинаков по величине и направлению, называется *однородным*. В противном случае – *неоднородным*.

Для определения магнитной индукции нескольких полей используется **принцип суперпозиции**: магнитная индукция результирующего поля, созданного несколькими источниками, равна векторной сумме магнитных индукций полей, создаваемых каждым источником в отдельности

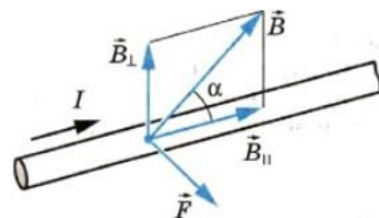
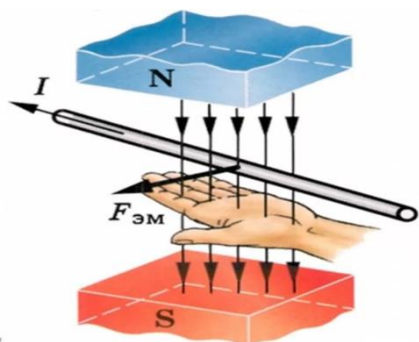
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots$$

Закон Ампера: на проводник с током силой I длиной l , помещенный в магнитное поле с индукцией B , действует сила, модуль которой равен

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

где α – угол между проводником с током и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

Направление силы Ампера определяют **по правилу левой руки**: если ладонь левой руки расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику составляющая вектора магнитной индукции $B_{\perp}$ входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера.



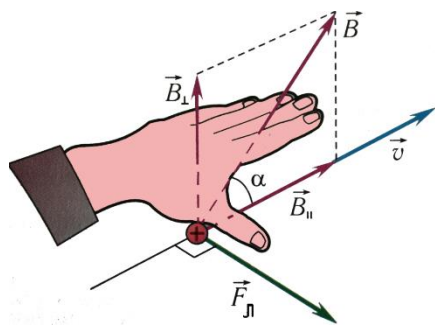
Важно! Часто возникает путаница между применением правила правой руки и правила левой руки. **Правило правой руки** используется для определения **направлений линий магнитного поля**. **Правило левой руки** используется для определения **направлений сил**.

Сила Лоренца

Сила Лоренца – сила, действующая на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля. Модуль силы Лоренца

$$F_L = qBv \sin \alpha,$$

где q – заряд частицы, v – скорость частицы, B – модуль вектора магнитной индукции, α – угол между вектором скорости частицы и вектором магнитной индукции.



Направление силы Лоренца определяют **по правилу левой руки**: если ладонь левой руки расположить так, чтобы перпендикулярная к скорости частицы составляющая вектора магнитной индукции $B_{\perp}$ входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление скорости положительно заряженной частицы, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Лоренца.

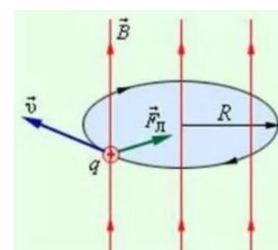
Важно! Если заряд частицы отрицательный, то четыре пальца располагаем против вектора скорости частицы.

Важно! Если вектор скорости сонаправлен с вектором магнитной индукции, то частица движется равномерно и прямолинейно, т.к. сила Лоренца на нее не действует.

В однородном магнитном поле сила Лоренца искривляет траекторию движения частицы.

I. Если частица влетает в магнитное поле перпендикулярно вектору $\vec{B}$, то траектория движения частицы – окружность. В этом случае сила Лоренца играет роль центростремительной силы. Радиус окружности, по которой движется частица

$$R = \frac{mv}{qB}$$

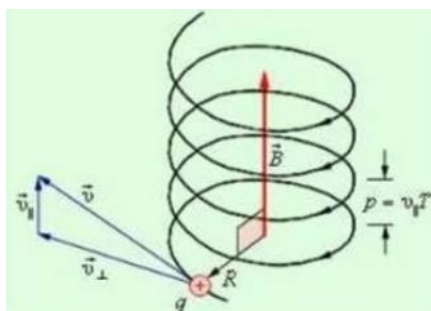


Работа силы Лоренца в данном случае равна нулю. Период (частота) обращения частицы не зависит от радиуса окружности и скорости частицы

$$T = \frac{2\pi m}{Bq}.$$

Угловая скорость движения заряженной частицы $\omega = \frac{qB}{m}$.

Важно! Согласно теореме об изменении кинетической энергии, раз работа силы Лоренца равна нулю, то сила Лоренца не меняет кинетическую энергию частицы и модуль ее скорости. *Под действием силы Лоренца изменяется направление скорости частицы.*



II. Если вектор скорости направлен под некоторым углом α ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$) к вектору магнитной индукции, то частица движется по винтовой линии.

Важно! Если частица движется в электрическом и магнитном полях, то полная сила, действующая на частицу равна сумме кулоновской силы и силы Лоренца

$$\vec{F} = \vec{F}_L + \vec{F}_k.$$