1. Магнитное поле в вакууме и его свойства. Опыты Эрстеда. Рамка с током. Магнитный момент рамки с током.

**Магнитное поле** – это одна из форм проявления электромагнитного поля. Это поле действует исключительно на заряженные частицы, находящиеся в движении, и на намагниченные тела (в любом состоянии).

Магнитные поля создают**:**

* Проводники с током;
* Движущиеся электрические заряды и тела;
* Намагниченные тела;
* Переменные электрические тела.

**Свойства силовых линий (линий магнитной индукции) МП**:

1) Линии магнитной индукции *всегда замкнуты* и охватывают проводники с током.

(Силовые линии ЭСП разомкнуты. Они начинаются на (+q) и заканчиваются на (–q)).

Поле, силовые линии которого замкнуты, называется *вихревым*. МП - *вихревое поле***.**Изобразим линии магнитной индукции полосового магнита. Силовые линии выходят из северного полюса и входят в южный. **Разрезая магнит на части, нельзя разделить полюса магнита.** Внутри (установлено на опыте) полосовых магнитов имеется магнитное поле, силовые линии которого являются продолжением силовых линий вне магнита. Т.е. **силовые линии МП постоянных магнитов тоже замкнуты.** Свободных магнитных зарядов не существует.

2) **Линии МП никогда не пересекаются**. Их густота характеризует величину магнитной индукции в данной точке поля. Магнитная индукция зависит от свойств среды.

3) Для магнитного поля справедлив **принцип суперпозиции**:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://edu.tltsu.ru/er/er_files/page10874/img/image145.gif. | (25.5) |

*Поле вектора*https://edu.tltsu.ru/er/er_files/page10874/img/image002.gif*, порождаемое несколькими движущимися зарядами (токами), равно векторной сумме полей*https://edu.tltsu.ru/er/er_files/page10874/img/image146.gif*, порождаемых каждым зарядом (током) в отдельности.*

В СИ единицей измерения магнитной индукции является *тесла:*

*1 Тл = Дж/А·м² = Н·м/А·м² = Н/А·м*

*Магнитной проницаемостью среды* является безразмерная величина, показывающая, во сколько раз МП в среде больше чем МП в вакууме:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | https://edu.tltsu.ru/er/er_files/page10874/img/image147.gif, | (25.6) |

где *В*0 – величина МИ в вакууме, а *В*ср – величина магнитной индукции в среде.

https://edu.tltsu.ru/er/er_files/page10874/img/image148.gif Гн/м – магнитная постоянная.

**Опыт Эрстеда** — классический опыт, проведённый в 1820 году Эрстедом и являющийся первым экспериментальным доказательством воздействия электрического тока на магнит.

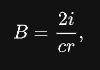
**Суть опыта**

Ханс Кристиан Эрстед помещал над магнитной стрелкой прямолинейный металлический проводник, направленный параллельно стрелке. При пропускании через проводник электрического тока стрелка поворачивалась почти перпендикулярно проводнику. При изменении направления тока стрелка разворачивалась на 180°. Аналогичный разворот наблюдался, если провод переносился на другую сторону, располагаясь не над, а под стрелкой.

Принято считать, что это открытие было совершенно случайно: профессор Эрстед демонстрировал студентам опыт по тепловому воздействию электрического тока, при этом на экспериментальном столе находилась также и магнитная стрелка. Один из студентов обратил внимание профессора на то, что в момент замыкания электрической цепи стрелка немного отклонялась. Позднее Эрстед повторил опыт с более мощными батареями, усилив тем самым эффект. При этом сам он в своих поздних работах отрицал случайный характер открытия: «Все присутствующие в аудитории — свидетели того, что я заранее объявил о результате эксперимента. Открытие, таким образом, не было случайностью…».

**Объяснение опыта**

Согласно современным представлениям, при протекании через прямолинейный проводник электрического тока в пространстве вокруг него возникает магнитное поле, силовые линии которого представляют собой окружности с центром на оси проводника. При этом величина магнитного поля пропорциональна силе тока, текущего в проводнике, и обратно пропорциональна расстоянию до проводника:



где B — модуль вектора индукции магнитного поля, i — сила тока, r — расстояние от точки наблюдения до проводника, c — скорость света (здесь использована запись в гауссовой системе единиц).

При помещении в магнитное поле вещества, имеющего ненулевой магнитный момент (магнита), на него начинает действовать момент силы Лоренца, пропорциональный индукции магнитного поля и величине магнитного момента, а также синусу угла между их векторами[4]:



где M — модуль вектора момента сил, действующих на магнитный момент, pm — величина магнитного момента, \alpha — угол между векторами  и

Момент сил стремится выстроить магнитную стрелку параллельно направлению вектора магнитной индукции, то есть перпендикулярно проводнику с током. Этот эффект тем сильнее, чем выше сила тока в проводнике и чем больше сила магнита. На практике действию магнитной силы противостоят силы трения в точке крепления магнитной стрелки, поэтому эффект может быть слабо выражен.

**Роль опыта в истории физики**

Опыт стал первым экспериментальным доказательством взаимосвязи электрических и магнитных явлений.

**Рамка с током.**

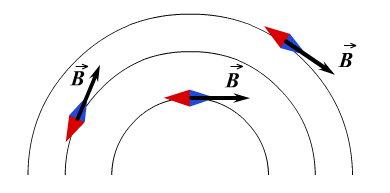
Она электрически нейтральна и при исследовании магнитных полей создаваемых токами в проводниках, т.е. движущимися заряженными частицами, на создаваемые ими электрические поля она не реагирует.

**Магнитный момент рамки с током.**

т.е. вектор В, определяется через максимальный вращающим моментом , а это имеет место при sin90, действующим на рамку с магнитным моментом, равным единице, когда нормаль к рамке перпендикулярна направлению поля.

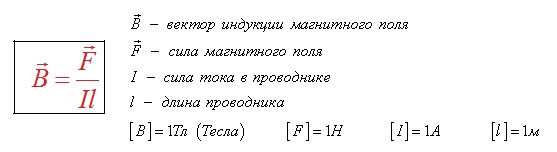
1. Направление магнитного поля. Вектор магнитной индукции. Линии индукции магнитного поля.

**Направление магнитного поля** в данной точке можно определить как направление, которое указывает северный полюс стрелки компаса, помещенного в эту точку.



Вектор магнитной индукции

Это [векторная величина](http://fizmat.by/kursy/fiz_velichina#fiz_velichina_3), характеризующая силовое действие поля.



**Линии индукции магнитного поля**

Магнитная индукция имеет направление. Графически ее можно зарисовывать в виде линий. Линии индукции магнитного поля это и есть то, что мы до сих пор в более ранних темах называли магнитными линиями или линиями магнитного поля. Так как мы выше вывели определение магнитной индукции, то мы можем дать определение и линиям магнитной индукции:

Линии магнитной индукции это линии, касательные к которым в каждой точке поля совпадают с направлением вектора магнитной индукции.

В однородном магнитном поле линии магнитной индукции параллельны, и вектор магнитной индукции будет направлен так же во всех точках.

В случае неоднородного магнитного поля, например, поля вокруг проводника с током, вектор магнитной индукции будет меняться в каждой точке пространства вокруг проводника, а касательные к этому вектору создадут концентрические окружности вокруг проводника. Так и будут выглядеть линии индукции магнитного поля расширяющиеся окружности вокруг проводника.

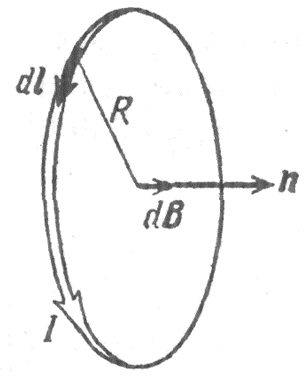
1. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение: магнитное поле прямого тока. Магнитное поле кругового тока.

Закон Био - Савара - Лапласа и его применение к расчету магнитных полей

Магнитное поле любого тока может быть вычислено как - векторная сумма (суперпозиция) полей, создаваемых отдельными элементарными участками тока: 

**магнитное поле кругового тока.**







**Магнитное поле кругового тока**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рассмотрим поле, создаваемое током *I*, текущим по тонкому проводу, имеющему форму окружности радиуса *R* (рис. 1.7).  http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image134.jpg  Рис. 1.7        Определим магнитную индукцию на оси проводника с током на расстоянии *х* от плоскости кругового тока. Векторы http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image056.png  перпендикулярны плоскостям, проходящим через соответствующие http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image052.png  и http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image054.png . Следовательно, они образуют симметричный конический веер. Из соображения симметрии видно, что результирующий вектор http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image011.png  направлен вдоль оси кругового тока. Каждый из векторов http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image056.png  вносит вклад равный http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image141.png, а http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image143.png  взаимно уничтожаются. Но http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image145.png, http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image147.png, а т.к. угол между http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image052.png  и http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image054.png  α – прямой, то http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image151.png  тогда получим   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image153.png, | (1.6.1) |  |         Подставив в (1.6.1) http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image155.png  и, проинтегрировав по всему контуру http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image157.png, получим выражение для нахождения ***магнитной индукции кругового*** ***тока***:   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image159.png, | (1.6.2) |  |   При http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image161.png, получим ***магнитную индукцию в центре кругового тока***:   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image163.png, | (1.6.3) |  |         Заметим, что в числителе (1.6.2)   http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image165.png  – магнитный момент контура. Тогда, на большом расстоянии от контура, при http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image167.png, магнитную индукцию можно рассчитать по формуле:   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image169.png, | (1.6.4) |  |         Силовые линии магнитного поля кругового тока хорошо видны в опыте с железными опилками (рис. 1.8).  http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image171.jpg      http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC/ima/image173.jpg  Рис. 1.8 |