

11. Магнитное поле в вакууме

11.1. Магнитное поле. Магнитная индукция

Взаимодействие токов осуществляется через поле, называемое магнитным. Это название происходит от того, что, как обнаружил в 1820 г. Эрстед, поле, возбуждаемое током, оказывает ориентирующее действие на магнитную стрелку. В опыте Эрстеда проволока, по которой тек ток, была натянута над магнитной стрелкой, вращающейся на игле. При включении тока стрелка устанавливалась перпендикулярно к проволоке. Изменение направления тока заставляло стрелку повернуться в противоположную сторону.

Из опыта Эрстеда следует, что магнитное поле имеет направленный характер и должно характеризоваться векторной величиной. Эту величину принято обозначать буквой $\vec{B}$. Логично было бы по аналогии с напряженностью электрического поля $\vec{E}$ назвать $\vec{B}$ напряженностью магнитного поля. Однако, по историческим причинам, основную силовую характеристику магнитного поля называли *магнитной индукцией*. Название же «напряженность магнитного поля» оказалось присвоенным вспомогательной величине $\vec{H}$.

Магнитное поле, в отличие от электрического, не оказывает действия на покоящийся заряд. Сила возникает лишь тогда, когда заряд движется.

Проводник с током представляет собой электрически нейтральную систему зарядов, в которой заряды одного знака движутся в одну сторону, а заряды другого знака движутся в противоположную сторону (либо покоятся). Отсюда следует, что магнитное поле порождается движущимися зарядами.

Итак, движущиеся заряды (токи) изменяют свойства окружающего их пространства — создают в нем магнитное поле. Это поле проявляется в том, что на движущиеся в нем заряды (токи) действуют силы.

Опыт дает, что для магнитного поля, как и для электрического, справедлив принцип суперпозиции: поле $\vec{B}$, порождаемое несколькими движущимися зарядами (токами), равно векторной сумме полей $\vec{B}_i$, порождаемых каждым зарядом (током) в отдельности:

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i \quad (11.1.1)$$

11.2. Закон Био-Савара-Лапласа

Био и Савар провели в 1820 г. исследование магнитных полей, создаваемых токами, текущими по тонким проводам различной формы. Лаплас проанализировал экспериментальные данные, полученные Био и Саваром, и установил зависимость, которая получила название **закона Био-Савара-Лапласа**. Согласно этому закону, магнитное поле любого тока, может быть вычислено как векторная сумма (суперпозиция) полей, создаваемых отдельными элементарными участками тока. Для магнитной индукции поля, создаваемого элементом тока длины dl , Лаплас получил формулу:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}, \quad (11.2.1)$$

где $d\vec{l}$ – вектор, совпадающий с элементарным участком тока и направленный в ту сторону, в какую течет ток (рис. 11.2.1), $\vec{r}$ – вектор, проведенный от элемента тока в ту точку, в которой определяется $d\vec{B}$, r – модуль этого вектора, μ_0 – **магнитная постоянная**, равная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

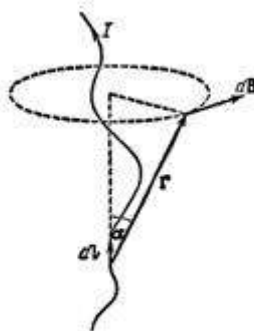


Рис. 11.2.1.

Применение закона Био-Савара-Лапласа для прямого тока дает формулу:

$$B = \frac{\mu_0 2I}{4\pi b}. \quad (11.2.2)$$

Линии магнитной индукции поля прямого тока представляют собой систему охватывающих провод концентрических окружностей (рис. 11.2.2).

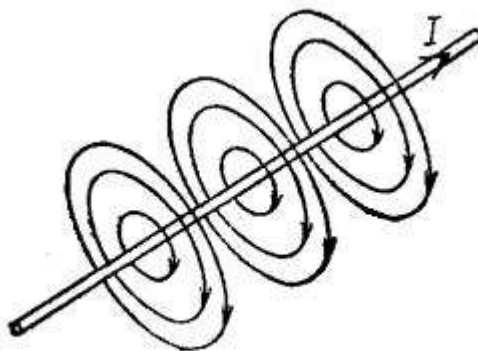


Рис. 11.2.2.

11.3. Сила Лоренца. Закон Ампера

На заряд, движущийся в магнитном поле действует сила, которую мы будем называть **магнитной**. Эта сила определяется зарядом q , скоростью

его движения $\vec{v}$ и магнитной индукцией $\vec{B}$ в той точке, где находится заряд в рассматриваемый момент времени. Простейшее предположение заключается в том, что модуль силы F пропорционален каждой из трех величин q , v и B . Кроме того, можно ожидать, что $\vec{F}$ зависит от взаимной ориентации векторов $\vec{v}$ и $\vec{B}$. Направление вектора $\vec{F}$ должно определяться направлениями векторов $\vec{v}$ и $\vec{B}$.

Опытным путем установлено, что сила $\vec{F}$, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле, определяется формулой:

$$\vec{F} = kq[\vec{v}\vec{B}], \quad (11.3.1)$$

где k — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц фигурирующих в формуле величин.

Единица магнитной индукции $\vec{B}$ - тесла - определяется так, чтобы коэффициент пропорциональности k в формуле (6.3.1) был равен единице. Следовательно, в СИ эта формула имеет вид:

$$\vec{F} = q[\vec{v}\vec{B}]. \quad (11.3.2)$$

Поскольку магнитная сила всегда направлена перпендикулярно к скорости заряженной частицы, она работы над частицей не совершает. Следовательно, действуя на заряженную частицу постоянным магнитным полем, изменить ее энергию нельзя.

Если имеются одновременно электрическое и магнитное поля, сила, действующая на заряженную частицу, равна:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}]. \quad (11.3.3)$$

Это выражение было получено из опыта Лоренцем и носит название силы Лоренца или лоренцевой силы.

Если провод, по которому течет ток, находится в магнитном поле, на каждый из носителей тока действует сила:

$$\vec{F} = q[(\vec{v} + \vec{u}), \vec{B}]. \quad (11.3.4)$$

Здесь $\vec{v}$ - скорость хаотического движения носителя, $\vec{u}$ — скорость упорядоченного движения. От носителя тока действие этой силы передается проводнику, по которому он перемещается.

В результате на провод с током, находящийся в магнитном поле, действует сила.

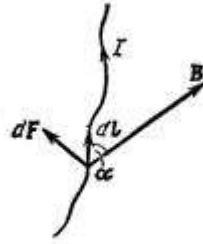


Рис. 11.3.1.

Закон Ампера был установлен экспериментально и может быть выражен следующей формулой:

$$d\vec{F} = I[d\vec{l}, \vec{B}] \quad (11.3.5)$$

Модуль силы (11.3.5) вычисляется по формуле:

$$dF = IBdl \sin \alpha, \quad (11.3.6)$$

где α – угол между векторами $\vec{B}$ и $d\vec{l}$ (рис. 11.3.1).