

Урок №4 (24.01.2007)

Закон Ампера. Закон Био-Савара. Определение силы тока.

1. Магнитное поле прямолинейного проводника

Экспериментальный факт: магнитное поле прямолинейного проводника имеет (очевидно) осевую симметрию, силовые линии представляют собой окружности и индукция такого поля равна $B \sim \frac{I}{r}$. Коэффициент пропорциональности записывается в виде $\frac{\mu_0}{2\pi}$: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$. Константа μ_0 называется *магнитной постоянной*,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м} / \text{А}$.

Заметим, что такая «правильная» константа возникла неспроста: чуть позже станет понятно, почему она такая...

2. Закон Ампера

Андре Мари Ампер в конце 18-го, начале 19-го века вывел закон, описывающий поле проводника произвольной конфигурации.

Если мы охватим проводник произвольным замкнутым контуром, то справедливо соотношение: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$, т.е. сумма произведений длины элемента контура на параллельную составляющую магнитного поля в этой точке равна произведению магнитной постоянной на ток, протекающий через этот контур.

Очевидна параллель с теоремой Гаусса: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$.

Из закона Ампера легко выводится поле прямолинейного проводника.

Заметим, что индукция \vec{B} в законе Ампера не обязательно обусловлена током I .

3. Магнитное поле соленоида и тора

Будем рассматривать бесконечно длинный соленоид с плотной намоткой.

Возьмем в качестве контура прямоугольник со стороной l , направленной по полю внутри соленоида, и второй стороной l , лежащей вне соленоида. Тогда

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl$. Если на длине l в соленоиде помещается N витков, то из закона Ампера $Bl = \mu_0 NI$, или $B = \mu_0 nI$, где $n = N/l$ – число витков на единицу длины соленоида.

Поле соленоида снаружи напоминает поле магнитного стержня.

Задача:

Посчитать поле внутри тороидального соленоида, если на единицу длины приходится n витков.

4. Сила, действующая между двумя параллельными проводниками

Рассмотрим два длинных проводника на расстоянии L друг от друга. Пусть по проводникам текут токи I_1 и I_2 . Каждый ток создает магнитное поле, взаимодействующее с другим током, следовательно на проводники действуют силы.

На расстоянии L от первого проводника индукция магнитного поля, создаваемого током I_1 равна $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi L}$. Тогда на единицу длины второго проводника действует сила Ампера

$$F/l = I_2 B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi L}.$$

Направление силы можно определить по «правилу правой руки» или как-нибудь еще: проводники притягиваются, если токи в них направлены в одну сторону. Так как полученная формула симметрична, то на первый проводник со стороны второго действует точно такая же сила (согласно третьему закону Ньютона).

Теперь мы можем дать определение силы тока: если $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$ и проводники расположены на расстоянии 1 м друг от друга, то (по определению) сила, действующая на единицу длины проводника, равна $F/l = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н/м}$. Таким образом определяется сила тока 1 А. Заряд 1 Кл определяется как заряд, протекающий по проводнику, при токе 1 А, за 1 с.

5. Закон Био-Савара(-Лапласа)

Жан-Батист Био и Феликс Савар в начале XIX-го века сформулировали для магнитного поля некое подобие закона Кулона:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^2} - \text{элемент проводника } d\vec{l}, \text{ по которому течет ток } I, \text{ создает в}$$

точке, с радиус-вектором \vec{r} , поле $d\vec{B}$. $\vec{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$ – единичный вектор. Полная индукция в точке может быть найдена интегрированием (сложением) по всем элементам тока: $\vec{B}(\vec{r}) = \int d\vec{B}$.

Отличие от закона Ампера: в законе Ампера вектор индукции обусловлен не только током, входящим в закон, в законе Био-Савара – это индукция, обусловленная только током I .

6. Задача на десерт

1. В однородном магнитном поле индукции B находятся две вертикальные рейки, расположенные в плоскости, перпендикулярной линиям поля. По рейкам, расстояние между которыми равно l , может скользить проводник массы m . Определите установившуюся скорость этого проводника, если верхние концы реек замкнуты на сопротивление R .