

Тема: Закон Ампера. Принцип суперпозиции магнитных полей.

Магнитное поле действует на все участки проводника с током, зная силу, действующую на каждый участок проводника можно вычислить силу, действующую на замкнутый проводник в целом.

Закон определяющий эту силу был установлен в 1820 году А.Ампером.



Анри Мари Ампер интересные факты Родился в во французском городе Лионе в семье коммерсанта. В 1793 г. в Лионе вспыхнул мятеж, который был жестоко подавлен. За сочувствие бунтовщикам был казнен и отец Андре Ампера. Имущество семьи было конфисковано, и юноша стал зарабатывать на жизнь частными уроками математики. Чтобы продолжать научные знания, ему приходилось работать, начиная с четырех часов утра.

Он ввел в научный обиход термины кинематика, кибернетика, электродинамика, электростатика и соленоид.

Имя Ампера внесено в перечень величайших французских ученых, который помещен в Эйфелевой башне на первом этаже. Всего там указано 72 имени.

Ампер никогда не учился в школе, получив домашнее образование.

В 14 лет он прочитал 28 томов французской «Энциклопедии» и делает первые шаги в математической науке. В его честь назвали единицу силы тока. Его заветная мечта сбылась в 1824 году – он начал вести в учебном заведении курс физики, включив в нее новый раздел – собственную электродинамику.

Ампер имел отличную память. Он дословно мог воспроизводить даже самые длинные статьи из энциклопедий, спустя 50 лет после прочтения книги.

Интересный факт

Однажды известный физик и математик Ампер шел по улице и высчитывал что-то в голове. Вдруг он увидел перед собой черную доску, такую же, как в аудитории. Обрадовавшись, он подбежал к ней, достал кусочек мела, который всегда имел при себе, и начал писать формулы. Доска, однако, сдвинулась с места. Ампер, не осознавая того, что делает, последовал за ней. Доска набирала скорость. Ампер побежал. Очнулся он только тогда, когда услышал неудержимый смех прохожих. Но теперь ученый заметил, что доска, на которой он писал формулы, - это задняя стенка черной кареты.

Ампер умер от воспаления легких в возрасте 61 года.

Для того, чтобы количественно описать магнитное поле, нужно указать способ определения не только направления вектора но и его модуля. Проще всего это сделать, внося в исследуемое магнитное поле проводник с током и измеряя силу, действующую на отдельный прямолинейный участок этого проводника. Этот участок проводника должен иметь длину Δl , достаточно малую по сравнению с размерами областей неоднородности магнитного поля. Как показали опыты Ампера, сила, действующая на участок проводника, пропорциональна силе тока I , длине Δl этого участка и синусу угла α между направлениями тока и вектора магнитной индукции:

$$F \sim I \Delta l \sin \alpha.$$

Эта сила называется силой Ампера. Она достигает максимального по модулю значения F_{\max} , когда проводник с током ориентирован перпендикулярно линиям магнитной индукции. Модуль вектора определяется следующим образом:

Модуль вектора магнитной индукции равен отношению максимального значения силы Ампера, действующей на прямой проводник с током, к силе тока I в проводнике и его длине Δl :

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

В общем случае сила Ампера выражается соотношением:

$$F = I B \Delta l \sin \alpha.$$

Это соотношение принято называть законом Ампера.

Модуль вектора магнитной индукции – это физическая величина численно равная отношению максимальной силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле к произведению силы тока в проводнике и длины проводника.

$$[B] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Ам}} = 1 \text{Тл (Тесла)}$$

Модуль вектора магнитной индукции также равен отношению максимального вращающего механического момента M_{\max} , действующего со стороны магнитного поля на контур с током, к произведению силы тока I на площадь контура S .

$$B = \frac{M_{\max}}{IS}$$

Величина $p_m = IS$ называется магнитным моментом контура с током.

В общем случае механический вращающий момент, действующий на контур с током равен

$$M = p_m B \sin \alpha$$

α – угол между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру.

Обратите внимание, что для вектора напряженности электрического поля выбрана единица измерения Вольт на метр, а для вектора магнитной индукции выбрана единица измерения Тесла – своя собственная. Понятно, что эта единица названа в честь ученого (Никола Тесла), но почему именно в честь магнитной индукции?

1 Тесла – это индукция такого магнитного поля в котором на участок проводника в 1 м с силой тока в 1 ампер действует максимальная сила в 1 Ньютон.

В системе единиц СИ за единицу магнитной индукции принята индукция такого магнитного поля, в котором на каждый метр длины проводника при силе тока 1 А действует максимальная сила Ампера 1 Н. Эта единица называется тесла (Тл).

$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$$

Тесла – очень крупная единица. Магнитное поле Земли приблизительно равно $0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл. Большой лабораторный электромагнит может создать поле не более 5 Тл.

Сила Ампера направлена перпендикулярно вектору магнитной индукции и направлению тока, текущего по проводнику. Для определения направления силы Ампера обычно используют правило левой руки: если расположить левую руку так, чтобы линии индукции входили в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены вдоль тока, то отведенный большой палец укажет направление силы, действующей на проводник (рис. 2).

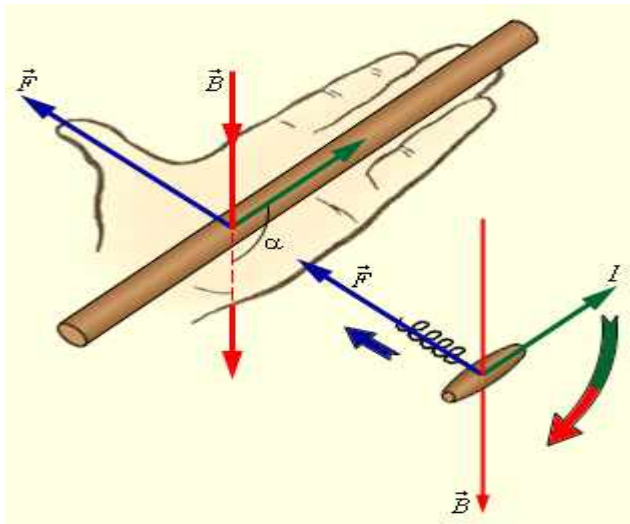


Рисунок 2. Правило левой руки и правило буравчика

Если угол α между направлениями вектора \vec{B} и тока в проводнике отличен от 90° , то для определения направления силы Ампера более удобно пользоваться правилом буравчика: воображаемый буравчик располагается перпендикулярно плоскости, содержащей вектор \vec{B} и проводник с током, затем его рукоятка поворачивается от направления тока к направлению вектора \vec{B} . Поступательное перемещение буравчика будет показывать направление силы Ампера (рис. 2). Правило буравчика часто называют **правилом правого винта**.

Одним из важных примеров магнитного взаимодействия является взаимодействие параллельных токов. Закономерности этого явления были экспериментально установлены Ампером. Если по двум параллельным проводникам электрические токи текут в одну и ту же сторону, то наблюдается взаимное притяжение проводников. В случае, когда токи текут в противоположных направлениях, проводники отталкиваются.

Взаимодействие токов вызывается их магнитными полями: магнитное поле одного тока действует силой Ампера на другой ток и наоборот.

Опыты показали, что модуль силы, действующей на отрезок длиной Δl каждого из проводников, прямо пропорционален силам тока I_1 и I_2 в проводниках, длине отрезка Δl и обратно пропорционален расстоянию R между ними:

$$F = k \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}.$$

В Международной системе единиц СИ коэффициент пропорциональности k принято записывать в виде:

$$k = \mu_0 / 2\pi,$$

где μ_0 – постоянная величина, которую называют магнитной постоянной. Введение магнитной постоянной в СИ упрощает запись ряда формул. Ее численное значение равно

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Н/А}^2.$$

Формула, выражающая закон магнитного взаимодействия параллельных токов, принимает вид:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \Delta l}{2\pi R}.$$

Отсюда нетрудно получить выражение для индукции магнитного поля каждого из прямолинейных проводников. Магнитное поле прямолинейного проводника с током должно обладать осевой симметрией и, следовательно, замкнутые линии магнитной индукции могут быть только концентрическими окружностями, располагающимися в плоскостях, перпендикулярных проводнику. Это означает, что векторы и магнитной индукции параллельных токов I_1 и I_2 лежат в плоскости, перпендикулярной обоим токам. Поэтому при вычислении сил Ампера, действующих на проводники с током, в законе Ампера нужно положить $\sin \alpha = 1$. Из закона магнитного взаимодействия параллельных токов следует, что модуль индукции B магнитного поля прямолинейного проводника с током I на расстоянии R от него выражается соотношением

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}.$$

Для того, чтобы при магнитном взаимодействии параллельные токи притягивались, а антипараллельные отталкивались, линии магнитной индукции поля прямолинейного проводника должны быть направлены по часовой стрелке, если смотреть вдоль проводника по направлению тока. Для определения направления вектора магнитного поля прямолинейного проводника также можно пользоваться правилом буравчика: направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением вектора если при вращении буравчик перемещается в направлении тока (рис. 3).

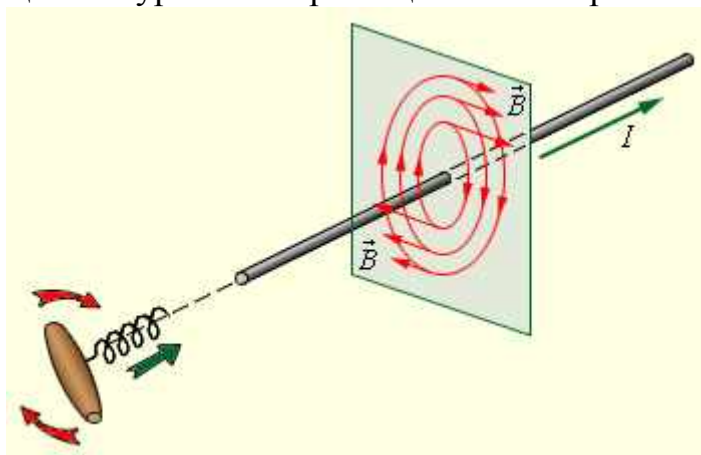


Рисунок 3. Магнитное поле прямолинейного проводника с током

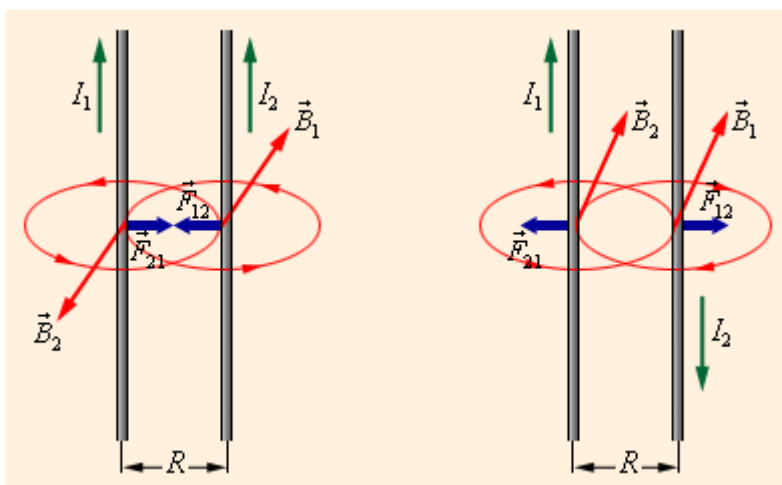
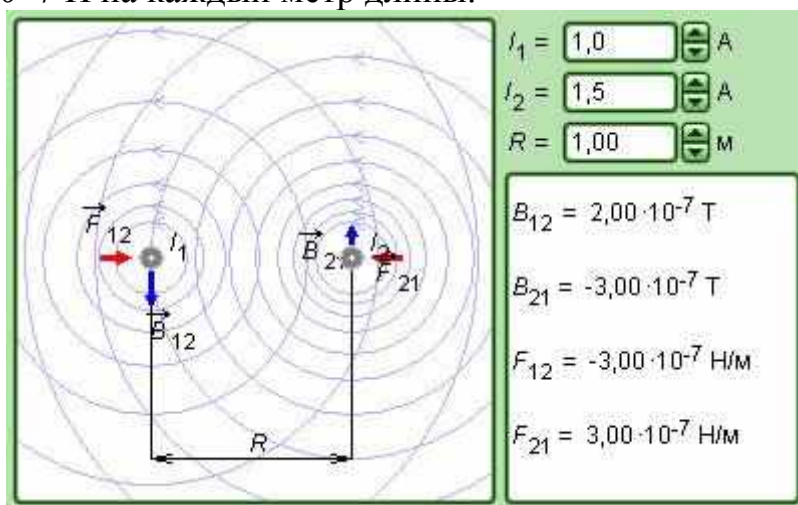


Рисунок 4. Магнитное взаимодействие параллельных и антипараллельных токов

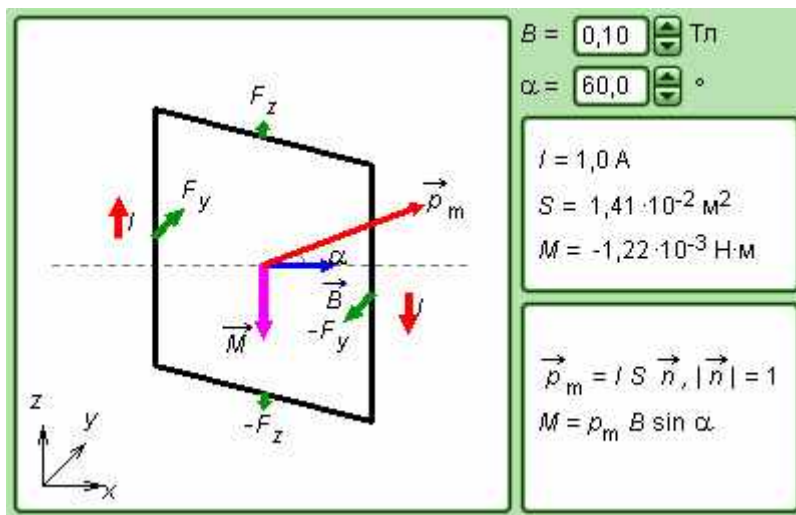
Рис. 4 поясняет закон взаимодействия параллельных токов.

Магнитное взаимодействие параллельных проводников с током используется в Международной системе единиц (СИ) для определения единицы силы тока – ампера:

Ампер – сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу магнитного взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.



Модель. Взаимодействие параллельных токов



Модель. Рамка с током в магнитном поле

Принцип суперпозиции магнитных полей:

Индукция магнитного поля, создаваемого несколькими проводниками с электрическими токами (или движущимися зарядами), в любой точке поля равна векторной сумме индукции магнитных полей, создаваемых в этой точке каждым из проводников с током в отдельности.

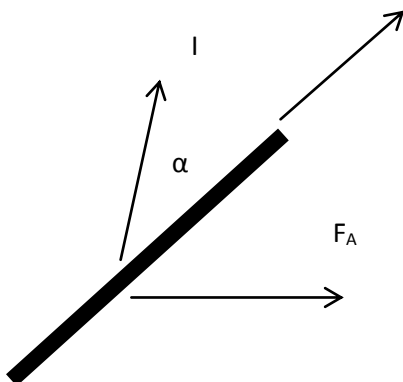
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots$$

А что если сила не перпендикулярна к вектору магнитной индукции, а расположена под углом к ней?

Найдем направление силы Ампера по правилу левой руки.

$$F_A \perp B \quad F_A \perp \text{проводнику}$$

Как же найти в этом случае направление силы Ампера?



$$F_A = B I l \sin \alpha - \text{закон Ампера}$$

Модуль вектора силы Ампера представляет собой произведение модуля вектора магнитной индукции, силы тока и длины проводника на синус угла между вектором магнитной индукции и направлением силы тока.

Магнитное поле бесконечно длинного прямого проводника с током

Индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I , в данной точке определяется соотношением

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$$

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

μ – магнитная проницаемость среды

r – расстояние от проводника до рассматриваемой точки

Магнитное поле кругового тока

Индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I , в данной точке определяется соотношением

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$$

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

μ – магнитная проницаемость среды

R – радиус кругового витка

Магнитное поле соленоида

Соленоид – это катушка, у которой витки намотаны в одну сторону. Если длина соленоида гораздо больше радиуса его витков, то поле можно считать его однородным.

Индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I , в данной точке определяется соотношением

$$B = \frac{\mu_0 \mu N I}{l} = \mu_0 \mu n I$$

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

μ – магнитная проницаемость среды

N – число витков в соленоиде

l – длина соленоида;

$$n = \frac{N}{l} \text{ – число витков на единицу длины соленоида}$$

Магнитное поле тороида

Тороид – это замкнутый в кольцо соленоид. Магнитное поле тороида сосредоточено внутри него. Вне его поле отсутствует.

Индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I , в данной точке определяется соотношением

$$B = \frac{\mu_0 \mu N I}{2\pi R} = \mu_0 \mu n I$$

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

μ – магнитная проницаемость среды

N – число витков в тороиде

R – радиус осевой линии тороида;

$$n = \frac{N}{2\pi R} \text{ – число витков на единицу длины тороида}$$

Принцип суперпозиции магнитных полей

Если магнитное поле создается несколькими проводниками с током, то его индукция B в данной точке равна векторной сумме магнитных индукций полей, создаваемых в этой точке каждым проводником с током в отдельности

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 + \dots + \vec{B}_n$$

