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

Закон, определяющий силу, действующую на отдельный небольшой участок проводника (элемент тока), был установлен в 1820 г. А. Ампером. Так как создать обособленный элемент тока нельзя, то Ампер проводил опыты с замкнутыми проводниками. Меняя форму проводников и их расположение, он сумел установить выражение для силы, действующей на отдельный элемент тока.

Действие магнитного поля на проводник с током будем изучать на установке, изображённой на рисунке 1.17. Свободно подвешенный горизонтально проводник находится в поле постоянного подковообразного магнита. Поле магнита сосредоточено в основном между его полюсами, поэтому магнитная сила действует практически только на часть проводника длиной А1, расположенную непосредственно между полюсами. Сила F измеряется с помощью специальных весов, которые соединяют с проводником двумя стерженьками. Она направлена горизонтально, перпендикулярно проводнику и линиям магнитной индукции.

Увеличивая силу тока в 2 раза, можно заметить, что и действующая на проводник сила также увеличивается в 2 раза. Добавив ещё один такой же магнит, мы в 2 раза увеличим размеры области, где существует магнитное поле, и тем самым в 2 раза увеличим длину части проводника, на которую действует магнитное поле. Сила при этом также увеличится в 2 раза. И наконец, сила Ампера зависит от угла, образованного вектором В с проводником.

Ампер установил закон для силы I взаимодействия двух небольших участков (элементов) проводников с током. Он был сторонником теории дальнодействия и не пользовался понятием поля. Однако по традиции и в память о заслугах этого учёного выражение для магнитной силы, действующей на проводник с током со стороны магнитного поля, также называют законом Ампера.

В этом можно убедиться, меняя наклон подставки, на которой находятся магниты, так, чтобы изменялся угол между проводником и линиями магнитной индукции. Сила достигает максимального значения Fm, когда вектор магнитной индукции перпендикулярен проводнику.

Итак, максимальная сила, действующая на отрезок проводника длиной А/, по которому идёт ток, прямо пропорциональна произведению силы тока I на длину участка A I: Fm~ I AI.

Этот опытный факт можно использовать для определения модуля вектора

магнитной индукции. В самом деле, поскольку, то отношение 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 длиной.

Модуль вектора магнитной индукции определяется отношением максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на отрезок проводника с током, к произведению силы тока на длину этого отрезка.

Магнитное поле полностью характеризуется вектором магнитной индукции В. В каждой точке магнитного поля можно определить направление вектора магнитной индукции и его модуль, если измерить силу, действующую на отрезок проводника с током.

Модуль силы Ампера. Пусть вектор магнитной индукции В составляет угол а (рис. 1.18) с направлением отрезка проводника с током (элементом тока). (За направление элемента тока принимают направление, в котором по проводнику идёт ток.) Опыт показывает, что магнитное поле, вектор индукции которого направлен вдоль проводника с током, не оказывает никакого действия на ток. Модуль силы зависит лишь от модуля составляющей вектора В, перпендикулярной проводнику, т. е. от В± = В sin а, и не зависит от составляющей Вл направленной вдоль проводника.

Максимальная сила Ампера согласно формуле (1.1) равна, ей соответствует уго. При произвольном значении угла а сила пропорциональна не В, а составляющей В± = В sin а. Поэтому выражение для силы F, действующей на малый отрезок проводника АI, при силе тока в нём I, со стороны магнитного поля с индукцией В, составляющей с элементом тока угол а, имеет вид.

Это выражение называют законом Ампера.

Модуль силы Ампера равен произведению силы тока, модуля вектора магнитной индукции, длины отрезка проводника и синуса угла между направлениями вектора магнитной индукции и элемента тока.

Зная направление и модуль силы, действующей на любой участок проводника с током, можно вычислить суммарную силу, действующую на весь замкнутый проводник. Для этого надо найти сумму сил, действующих на каждый участок проводника.

Направление силы Ампера. В рассмотренном выше опыте вектор F перпендикулярен элементу тока и вектору В . Его направление определяется правилом левой руки.

Если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная проводнику составляющая В± вектора магнитной индукции В входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по ходу тока, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы, действующей на отрезок проводника (рис. 1.19).

Это правило справедливо во всех случаях.

Единица магнитной индукции. Мы ввели новую величину - вектор магнитной индукции.

За единицу модуля вектора магнитной индукции можно принять магнитную индукцию однородного поля, в котором на отрезок проводника длиной 1 м при силе тока в нём 1 А действует со стороны поля максимальная сила Fm = 1 Н.

Согласно формуле (1.1) единица магнитной индукции равна.

Единица магнитной индукции получила название тесла (Тл) в честь сербского учёного-электротехника Н. Теслы (1856—1943).

Применение закона Ампера. Ориентирующее действие магнитного поля на контур с током используют в электроизмерительных приборах магнитоэлектрической системы — амперметрах и вольтметрах.

Измерительный прибор магнитоэлектрической системы устроен следующим образом (рис. 1.20). На лёгкую алюминиевую рамку 2 прямоугольной формы с прикреплённой к ней стрелкой 4 намотана катушка, к которой подводится ток. Рамка укреплена на двух полуосях ОО'. В положении равновесия её удерживают две тонкие спиральные пружины 3. Силы упругости со стороны пружин, возвращающие катушку в положение равновесия, пропорциональны углу отклонения стрелки от положения равновесия. Катушку помещают между полюсами постоянного магнита М с наконечниками специальной формы. Внутри катушки расположен цилиндр 1 из железа. Такая конструкция обеспечивает радиальное направление линий магнитной индукции в той области, где находятся витки катушки (рис. 1.21). В результате при любом положении катушки силы, действующие на неё со стороны магнитного поля, максимальны и при неизменной силе тока постоянны.

Векторы F и —F изображают силы, действующие на катушку со стороны магнитного поля и поворачивающие её. Катушка с током поворачивается до тех пор, пока силы упругости со стороны пружин не уравновесят силы, действующие на рамку со стороны магнитного поля. Увеличивая силу тока в 2 раза, мы обнаружим, что стрелка поворачивается на угол, вдвое больший, и т. д. Это происходит потому, что силы, действующие на катушку со стороны магнитного поля, прямо пропорциональны силе тока: Fm ~ I. Благодаря этому можно определить силу тока по углу поворота катушки, если проградуировать прибор. Для этого надо установить, каким углам поворота стрелки соответствуют известные значения силы тока.

Такой же прибор может измерять и напряжение. Для этого нужно градуировать прибор так, чтобы угол поворота стрелки соответствовал определённым значениям напряжения. Заметим, что сопротивление вольтметра должно быть много больше сопротивления амперметра.

В электродинамическом громкоговорителе (динамике) используется действие магнитного поля постоянного магнита на переменный ток в подвижной катушке. Громкоговоритель служит для возбуждения звуковых волн под действием переменного электрического тока, меняющегося со звуковой частотой.

Схема устройства громкоговорителя показана на рисунке 1.22, а. Звуковая катушка ЗК располагается в зазоре кольцевого магнита М.

С катушкой жёстко связан бумажный конус — диафрагма D. Диафрагма укреплена на упругих подвесах, позволяющих ей совершать вынужденные колебания вместе с подвижной катушкой.

По катушке проходит переменный электрический ток с частотой, равной звуковой частоте сигнала с микрофона или с выхода радиоприёмника, проигрывателя, магнитофона. Под действием силы Ампера катушка колеблется вдоль оси громкоговорителя ООj (см. рис. 1.22, а) в такт с колебаниями тока. Эти колебания передаются диафрагме, и поверхность диафрагмы излучает звуковые волны.

Звук в радиоприёмнике, проигрывателе и магнитофоне возникает в результате движения катушки с током в поле постоянного магнита.

Наряду с электромеханическими громкоговорителями в настоящее время широкое применение получили громкоговорители, устройство которых основано на пьезоэлектрическом эффекте (рис. 1.22, б). Этот эффект проявляется в виде деформации некоторых типов кристаллов в электростатическом поле. Пьезогромкоговорители очень удобны в изготовлении и могут быть совсем маленькими. Вследствие этого они нашли широкое применение в радиотелефонах, мобильных телефонах, ноутбуках и микрокомпьютерах.

Закон Ампера используют для расчёта сил, действующих на проводники с током, во многих технических устройствах, в частности в электродвигателях, с которыми вы ознакомились в основной школе.

Качественные громкоговорители воспроизводят без значительных искажений звуковые колебания в диапазоне 40—15 000 Гц. Но такие устройства очень сложны. Поэтому обычно применяют системы из нескольких громкоговорителей, каждый из которых воспроизводит звук в определённом небольшом интервале частот. Общим недостатком всех громкоговорителей является их малый КПД. Они излучают лишь 1—3 % подводимой энергии.