Электрический ток — это направленно движущиеся заряженные частицы. Поэтому действие магнитного поля на проводник с током есть результат действия поля на движущиеся заряженные частицы внутри проводника. Найдём силу, действующую на одну частицу.

Силой Лоренца называют силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля.

Эта сила названа в честь великого голландского физика X. JIоренца (1853—1928) — основателя электронной теории строения вещества. Силу Лоренца можно найти с помощью закона Ампера.

Модуль силы Лоренца равен отношению модуля силы X действующей на участок проводника длиной Д/, к числу N заряженных частиц, упорядоченно движущихся в этом участке проводника.

Рассмотрим отрезок тонкого прямого проводника с током (рис. 1.28). Пусть длина отрезка А1 и площадь S поперечного сечения проводника настолько малы, что вектор индукции магнитного поля В можно считать одинаковым в пределах этого отрезка проводника. Сила тока I в проводнике связана с зарядом q частиц, концентрацией п заряженных частиц (числом зарядов в единице объёма) и скоростью v их упорядоченного движения следующей формулой:

Модуль силы, действующей со стороны магнитного поля на выбранный элемент тока, равен:

Подставляя в эту формулу выражение (1.4) для силы тока, получаем.

где N = nSAl — число заряженных частиц в рассматриваемом объёме. Следовательно, на каждый движущийся заряд со стороны магнитного поля действует сила Лоренца

где а — угол между вектором скорости и вектором магнитной индукции. Сила Лоренца перпендикулярна векторам В и ТЕ. Её направление определяется с помощью того же правила левой руки, что и направление силы Ампера: если левую руку расположить так, чтобы составляющая магнитной индукции В, перпендикулярная скорости заряда, входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по направлению скорости движения положительного заряда (против направления скорости движения отрицательного), то отогнутый на 90° большой палец укажет направление действующей на заряд силы Лоренца Дл (рис. 1.29). Электрическое поле действует на заряд q с силой F3JI = qE. Следовательно, если есть и электрическое поле, и магнитное поле, то суммарная сила F, действующая на заряд, равна:

Так как сила Лоренца перпендикулярна скорости частицы, то она не совершает работы. Согласно теореме об изменении кинетической энергии (см. учебник физики для 10 класса) это означает, что сила Лоренца не меняет кинетическую энергию частицы и, следовательно, модуль скорости частицы. Под действием силы Лоренца меняется лишь направление скорости частицы.

Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле. Рассмотрим движение частицы с зарядом q в однородном магнитном поле В, направленном перпендикулярно вектору начальной скорости частицы ТЕ (рис. 1.30). Сила Лоренца зависит от модулей векторов скорости частицы и индукции магнитного поля. Так как магнитное поле не меняет модуль скорости движущейся частицы, то остаётся неизменным и модуль силы Лоренца. Эта сила перпендикулярна скорости и, следовательно, определяет центростремительное ускорение частицы. Неизменность по модулю центростремительного ускорения частицы, движущейся с постоянной по модулю скоростью, означает, что частица равномерно движется по окружности радиусом г. Определим этот радиус.

Согласно второму закону Ньютона

Время, за которое частица делает полный оборот (период обращения), равно:

Использование действия магнитного поля на движущийся заряд.

Действие магнитного поля на движущийся заряд широко использовали в технике. Достаточно вспомнить телевизионные трубки (кинескопы), в которых летящие к экрану электроны отклоняются с помощью магнитного поля, создаваемого особыми катушками.

Сила Лоренца используется в ускорителе заряженных частиц (циклотроне) для получения частиц с большими энергиями. Циклотрон состоит из двух полых полуцилиндров (дуантов) 3, находящихся в однородном магнитном поле (рис. 1.31). В зазоре между дуантами создаётся переменное электрическое поле с постоянным периодом, равным периоду обращения частицы. Согласно формуле (1.6) при увеличении скорости частицы 1 радиус окружности (траектории 2), по которой движется частица, увеличивается. Период обращения частицы не зависит от скорости (см. формулу (1.7)), и, следовательно, через полпериода, вследствие изменения направления электрического поля в зазоре, частица снова оказывается в ускоряющем её поле и т. д. На последнем витке частица вылетает из циклотрона.

На действии магнитного поля основано также и устройство приборов, позволяющих разделять заряженные частицы по их удельным зарядам, т. е. по отношению заряда частицы к её массе, и по полученным результатам точно определять массы частиц. Такие приборы получили название масс-спектрографов.

На рисунке 1.32 изображена принципиальная схема простейшего масс-спектрографа. Пройдя через диафрагму 1, положительно заряженные ионы попадают во взаимно перпендикулярные электрическое (Е) и магнитное (В ) поля. Если сила Лоренца равна электростатической силе qE = qvB, то через диафрагму 2 пройдут только ионы, имеющие скорость и = Е/В. Ионы, движущиеся с другими скоростями, отклонятся и не пройдут через неё.

В области за диафрагмой 2 создаётся магнитное поле с индукцией В0. Радиус кривизны траектории ионов в этом магнитном поле, и его можно измерить, поставив на пути частиц фотопластинку 3. Так как скорость частиц одинакова и определяется постоянной прибора Е/В, то, зная заряд ионов, можно определить их массу по формуле.

Ещё одно устройство — токамак (тороидальная камера с магнитными катушками), в котором плазма (заряженные частицы) удерживается специально создаваемым магнитным полем, считается наиболее перспективным устройством для осуществления управляемого термоядерного синтеза.