ГЛАВА X

ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

§ 72. Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле

Представим себе заряд e', движущийся в однородном магнитном поле со скоростью $\mathbf{v}$, перпендикулярной к $\mathbf{B}$. Магнитная сила сообщает заряду перпендикулярное к скорости ускорение

$$w_n = \frac{F}{m} = \frac{e'}{m} vB \tag{72.1}$$

(см. формулу (43.3); угол между $\mathbf{v}$ и $\mathbf{B}$ прямой). Это ускорение изменяет лишь направление скорости, величина же скорости остается неизменной. Следовательно, и ускорение (72.1) будет постоянным по величине. При этих условиях заряженная частица движется равномерно по окружности, радиус которой определяется соотношением $w_n = v^2/R$. Подставив сюда значение (72.1) для w_n и решив получившееся уравнение относительно R, получим

$$R = \frac{m}{e'} \frac{v}{B}. \tag{72.2}$$

Итак, в случае, когда заряженная частица движется в однородном магнитном поле, перпендикулярном к плоскости, в которой происходит движение, траектория частицы является окружностью. Радиус этой окружности зависит от скорости частицы, магнитной индукции поля и отношения заряда частицы e' к ее массе m. Отношение e'/m называется удельным зарядом.

Найдем время T, затрачиваемое частицей на один оборот. Для этого разделим длину окружности $2\pi R$ на скорость частицы v. В результате получим

$$T = 2\pi \frac{m}{e'} \frac{1}{B}. \tag{72.3}$$

Из (72.3) следует, что период обращения частицы не зависит от ее скорости, он определяется только удельным зарядом частицы и магнитной индукцией поля.

Выясним характер движения заряженной частицы в случае, когда ее скорость образует с направлением однородного магнитного поля угол α, отличный от прямого. Разложим вектор $\mathbf{v}$ на две составляющие: $\mathbf{v}_\perp$ — перпендикулярную к $\mathbf{B}$ и $\mathbf{v}_\parallel$ — параллельную $\mathbf{B}$ (рис. 72.1). Модули этих составляющих равны

$$v_\perp = v \sin\alpha, \quad v_\parallel = v\cos\alpha.$$

Магнитная сила имеет модуль

$$F = e'vB\sin\alpha = e'v_\perp B$$

и лежит в плоскости, перпендикулярной к $\mathbf{B}$. Создаваемое этой силой ускорение является для составляющей $\mathbf{v}_\perp$ нормальным.

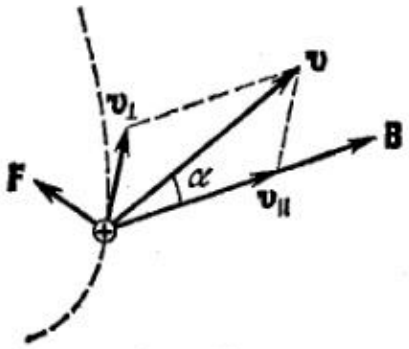


Рис. 72.1.

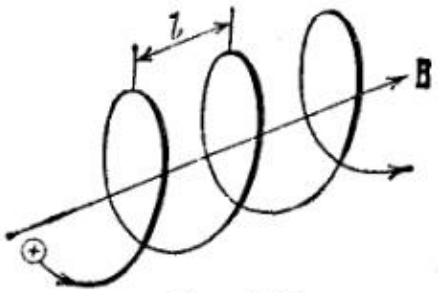


Рис. 72.2.

Составляющая магнитной силы в направлении $\mathbf{B}$ равна нулю; поэтому повлиять на величину $\mathbf{v}_\parallel$ эта сила не может. Таким образом, движение частицы можно представить как наложение двух движений: 1) перемещения вдоль направления $\mathbf{B}$ с постоянной скоростью $v_\parallel = v\cos\alpha$ и 2) равномерного движения по окружности в плоскости, перпендикулярной к вектору $\mathbf{B}$. Радиус окружности определяется формулой (72.2) с заменой v на $v_\perp = v\sin\alpha$. Траектория движения представляет собой винтовую линию, ось которой совпадает с направлением $\mathbf{B}$ (рис. 72.2). Шаг линии l можно найти, умножив $v_\parallel$ на определяемый формулой (72.3) период обращения T:

$$l = v_\parallel T = 2\pi\frac{m}{e'}\frac{1}{B}v\cos\alpha. \qquad (72.4)$$

Направление, в котором закручивается траектория, зависит от знака заряда частицы. Если заряд положителен, траектория закручивается против часовой стрелки. Траектория, по которой движется отрицательно заряженная частица, закручивается по часовой стрелке (предполагается, что мы смотрим на траекторию вдоль направления $\mathbf{B}$; частица при этом летит от нас, если $\alpha < \pi/2$, и на нас, если $\alpha > \pi/2$).