

Эта загадочная магнитная сила

Е. РОМИШЕВСКИЙ

ОПЫТНО УСТАНОВЛЕНО, ЧТО СИЛА, действующая на точечный электрический заряд q , помещенный в электрическое и магнитное поля, зависит в общем случае от положения этого заряда и от его скорости движения. Обычно эту силу разделяют на две составляющие – электрическую $\vec{F}_э = q\vec{E}$, которая не зависит от движения заряда, а определяется его положением в электрическом поле с напряженностью \vec{E} , и магнитную $\vec{F}_м$, зависящую от скорости заряда \vec{v} . Именно о магнитной силе и пойдет речь в дальнейшем.

В любой точке пространства магнитная сила перпендикулярна вектору скорости заряда. Перпендикулярна она также и определенному выбранному в пространстве направлению. Величина же магнитной силы (ее модуль) пропорциональна той составляющей скорости заряда, которая перпендикулярна этому выделенному направлению. Эти свойства магнитной силы можно описать, пользуясь понятием магнитного поля. Магнитное поле характеризуется вектором магнитной индукции \vec{B} , который и определяет выбранное направление в пространстве.

Для определения магнитной силы можно записать следующее выражение:

$$\vec{F}_м = qvB \sin \alpha \cdot \vec{\zeta},$$

где v и B – модули векторов скорости заряда и индукции магнитного поля, α – угол между этими векторами, а единичный вектор $\vec{\zeta}$ – правый винт (или буравчик) – указывает только направление магнитной силы. Это направление соответствует направлению движения правого винта, головка которого лежит в плоскости векторов \vec{v} и \vec{B} и который мы закручиваем, поворачивая его на наименьший угол от вектора \vec{v} к вектору \vec{B} (рис.1). Магнитная сила $\vec{F}_м$ перпендикулярна и вектору \vec{v} , и вектору \vec{B} .

Полную электромагнитную силу $\vec{F} = \vec{F}_э + \vec{F}_м$, действующую на электрический заряд q , называют силой Лоренца (заметим, что иногда силой Лоренца

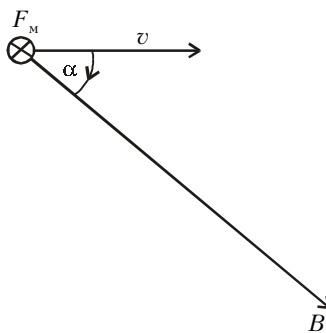


Рис. 1

называют лишь магнитную силу). По действию силы Лоренца на электрический заряд известного знака можно, в принципе, определить модули и направления векторов \vec{E} и \vec{B} .

Следует особо отметить, что на покоящийся электрический заряд магнитное поле не действует. Важной особенностью магнитной силы является также то, что она всегда перпендикулярна вектору скорости заряда, поэтому работы над зарядом не совершает. Это означает, что в постоянном магнитном поле кинетическая энергия заряженной частицы всегда остается неизменной, как бы частица ни двигалась.

Рассмотрим, например, как будут двигаться две разноименно заряженные частицы с зарядами $+q$ и $-q$, имеющие разные массы $M_1 = 2m$ и $M_2 = m$, если в начальный момент скорости этих частиц равны v_0 и направлены перпендикулярно границе области существования однородного магнитного поля с индукцией \vec{B} (рис.2; вектор \vec{B} перпендикулярен плоскости листа и направлен от нас). На оказавшуюся в области однородного магнитного поля положительную частицу действует магнитная сила, равная $F_m = qv_0B$ и направленная вначале вверх. На отрицательную частицу действует такая же по величине

не сила, но направленная вначале вниз. Каждая из частиц опишет полуокружность, после чего покинет область магнитного поля. Радиус окружности можно найти из второго закона Ньютона:

$$qv_0B = \frac{Mv_0^2}{R},$$

откуда

$$R = \frac{Mv_0}{qB}.$$

Угловая скорость движения частицы по окружности и период ее полного обращения будут равны

$$\omega = \frac{v_0}{R} = \frac{qB}{M} \text{ и } T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi M}{qB}.$$

Видно, что положительная частица ($M_1 = 2m$) опишет полуокружность в два раза большего радиуса, чем отрицательная ($M_2 = m$), которая будет двигаться в противоположную сторону. Возвратится же обратно тяжелая частица (зеркально отразившись) через промежуток времени, в два раза больший, чем отрицательная. Таким образом, однородное магнитное поле как бы разделяет в пространстве и во времени влетающие вместе, но разные по заряду и по массе частицы.

Если магнитное поле воздействует только на движущиеся заряды, то, как показывает опыт, движущиеся заряды (электрические токи), в свою очередь, всегда возбуждают в пространстве магнитное поле. В результате обобщения экспериментальных данных был получен элементарный закон, определяющий индукцию \vec{B} магнитного поля точечного заряда q , движущегося с постоянной скоростью \vec{v} , много меньшей по величине скорости света c . Этот закон можно записать в виде

$$\vec{B} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{qv \sin \alpha}{r^2} \vec{\zeta},$$

где α – угол между вектором скорости

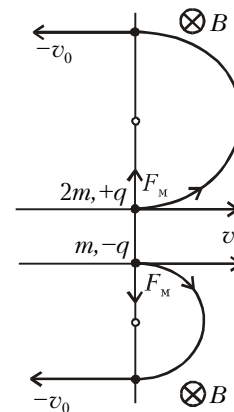


Рис. 2