

Магнитные явления

В. МОЖАЕВ

КАК ИЗВЕСТНО, ОСНОВНЫМ фундаментальным (а значит, полученным из экспериментов) законом в электростатике является закон Кулона – закон электрического взаимодействия двух точечных зарядов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Силовой характеристикой электростатического поля служит вектор напряженности электрического поля \vec{E} . (Заметим, что из закона Кулона вытекает основная теорема электростатики – теорема Гаусса, которая устанавливает связь между потоком напряженности электрического поля через замкнутую поверхность с величиной заряда, находящегося внутри этой поверхности.)

Если проводить параллель между электростатикой и магнитостатикой, то можно сказать, что в основе магнитостатики лежит закон Ампера – закон магнитного взаимодействия двух токов, текущих в малых отрезках проводников, находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Силовой характеристикой магнитного поля является вектор индукции магнитного поля \vec{B} .

Магнитное поле, подобно электрическому, является объективной реальностью и в то же время служит средством описания взаимодействия движущихся заряженных частиц. Если мы знаем величину индукции магнитного поля в некоторой точке пространства в данный момент времени, то мы знаем величину и направление силы, которая подействовала бы на движущуюся заряженную частицу в этой пространственно-временной точке.

Для определения индукции магнитного поля, создаваемого электрическим током, можно использовать закон

Био – Савара. Согласно этому закону, малый отрезок проводника Δl (рис.1), по которому течет ток I (отрезку приписывается направление тока), создает в точке M , находящейся на расстоянии r от Δl ($\Delta l \ll r$), магнитное поле с индукцией, равной

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l \sin \alpha}{r^2}.$$

Здесь α – угол между $\vec{\Delta l}$ и радиусом-вектором \vec{r} , проведенным от отрезка к точке, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная. Направление вектора $\vec{\Delta B}$ определяется правилом буравчика: если буравчик ввинчивать по направлению тока, то направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением индукции магнитного поля. Полная индукция \vec{B} магнитного поля, создаваемого в точке M всем проводником с током, равна векторной сумме индукций магнитного поля от всех участков проводника.

Проиллюстрируем сказанное на примере. Найдем индукцию магнитного поля протяженного прямого провода с током I на расстоянии a от провода. Длину провода будем считать много большей a .

Для определения индукции магнитного поля вблизи провода воспользуемся законом Био – Савара. На рисунке 2 бесконечный прямой провод с током I расположен вдоль оси Z . На расстоянии z от начала координат выберем небольшой отрезок провода

длиной dz и запишем выражение для величины индукции магнитного поля в точке A , создаваемого элементом тока dz :

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dz \sin \alpha}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cos \beta \cdot dz}{r^2}.$$

Сделаем замену переменных: перейдем от z к β . Поскольку $z/a = \tan \beta$, то, продифференцировав обе части этого равенства, получим $dz = a d\beta / \cos^2 \beta$. После замены переменной найдем индукцию в точке A , просуммировав по всему проводу:

$$B = 2 \int_0^{\pi/2} \frac{\mu_0 I \cos \beta \cdot a d\beta}{4\pi r^2 \cos^2 \beta} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \int_0^{\pi/2} \cos \beta d\beta = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}. (*)$$

Вектор индукции \vec{B} магнитного поля в точке A направлен от нас перпендикулярно плоскости рисунка. Линии магнитной индукции представляют собой семейство окружностей, симметричных относительно провода.

Полученный результат остается справедливым для бесконечно длинного провода и любого конечного расстояния a , либо для провода конечной длины, но при условии, что расстояние a много меньше длины провода. Если проводник с током не является прямолинейным, то формула для B остается справедливой при расстояниях a , много меньших радиуса кривизны проводника.

А теперь разберем несколько конкретных задач.

Задача 1. Два длинных параллельных медных провода диаметром $d = 2$ мм расположены на расстоянии $L = 5$ см друг от друга. В обоих проводах текут одинаковые токи со средней скоростью движения электронов проводимости $v = 0,1$ см/с. Атомная масса меди $A = 63,6$ г/моль, плотность меди $\rho = 8,9$ г/см³, постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Можно считать, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон.

Определите силу Ампера, действующую на элемент провода с током длиной $l = 1$ м. Вычислите электростатическую силу, которая действовала бы на электроны проводимости в проводе длиной $l = 1$ м со стороны электронов проводимости другого провода без учета положительных

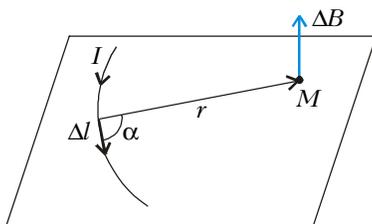


Рис. 1

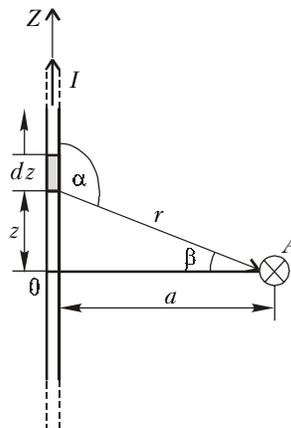


Рис. 2