



# МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ

Авторы: В. С. Булыгин

МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ, физич. величина, характеризующая магнитные свойства замкнутого контура, обтекаемого электрич. током, или другого, эквивалентного ему физич. объекта (напр., атома или др. системы движущихся зарядов). Для замкнутого тока силой

$I$  М. м. определяется выражением:

$$\mathbf{p}_M = I \int \boldsymbol{\sigma} n d\sigma,$$

где

$\sigma$  – геометрич. поверхность произвольной формы, ограниченная контуром с током;

$d\sigma$  – малый элемент этой поверхности, который можно принять за часть плоскости;

$\mathbf{n}$  – единичный вектор, направленный перпендикулярно к

$d\sigma$  в сторону, согласующуюся с направлением протекания тока по правилу винта.

Величина и направление М. м. не зависят от выбора поверхности

$\sigma$ , и для контура с током, целиком лежащего в плоскости,

$\mathbf{p}_M = IS\mathbf{n}$ , где

$S$  – площадь части плоскости, ограниченной контуром с током,

$\mathbf{n}$  – единичный вектор, направленный перпендикулярно

$S$  в сторону, согласующуюся с направлением протекания тока по правилу винта.

Размерность М. м. – А·м<sup>2</sup>.

На расстояниях, больших по сравнению с геометрич. размерами контура с током, его магнитное поле перестаёт зависеть от формы контура и определяется только значением его М. м. Вектор [магнитной индукции](#)

$\mathbf{B}$  в вакууме задаётся в этом случае выражением (полностью аналогичным выражению для электрич. поля, создаваемого дипольным моментом):

$$\mathbf{B}(r) = \mu_0 \frac{3r(\rho_M r) - \rho_M r^2}{4\pi r^5} = \frac{\mu_0 \rho_M}{4\pi r^3} (3\mathbf{e}_r \cos\alpha - \mathbf{e}_\rho),$$

где

$r$  – радиус-вектор, проведённый от М. м. в точку определения

$\mathbf{B}$ ,

$\mathbf{e}_r = r/r$  и

$\mathbf{e}_\rho = \rho_M/\rho_M$  – единичные векторы, направленные вдоль

$r$  и

$\rho_M$  соответственно,

$\alpha$  – угол между векторами

$\rho_M$  и

$r$ ,

$\mu_0$  – магнитная постоянная. Величина вектора

$\mathbf{B}$  определяется выражением:

$$B = \frac{\mu_0 \rho_M}{4\pi r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\alpha}.$$

На объект с М. м.

$\rho_M$ , находящийся в магнитном поле с магнитной индукцией

$\mathbf{B}$ , действует механич. вращающий момент

$\mathbf{N} = [\rho_M \mathbf{B}]$ , стремящийся повернуть объект так, чтобы его М. м. оказался направленным вдоль вектора

$\mathbf{B}$ . Величина вращающего момента

$\mathbf{N} = \rho_M B \sin\alpha$ , где

$\alpha$  – угол между векторами

$\rho_M$  и

$\mathbf{B}$ .

Источниками магнитного поля в веществе являются движущиеся заряженные частицы (электроны атомов, коллективизированные электроны проводимости, движущиеся нуклоны ядер и т. п.). Количественной характеристикой магнетизма частиц служит

создаваемый ими М. м.

$\mu$ . Он складывается из орбитального магнитного момента

$\mu_L = (e/2mc)L$  и спинового магнитного момента

$\mu_S = (e/mc)S$  (здесь

$e$  – элементарный электр. заряд,

$m$  – масса частицы,

$c$  – скорость света). Первый связан с наличием у частиц орбитального механич.

момента количества движения

$L$ , второй – с наличием внутр. механич. момента – спина

$S$ . Определяемый таким образом М. м. заряженной частицы называется нормальным;

для электрона он равен магнетону Бора:

$\mu_B = e\hbar/2mc = 927,401 \cdot 10^{-26}$  Дж/Тл. Однако опыт показывает, что М. м. электрона

отличается от этой величины на величину порядка

$\alpha/2\pi$  (

$\alpha = e^2/\hbar c$  – постоянная тонкой структуры,

$\hbar$  – постоянная Планка). Такая добавка, называемая аномальным магнитным моментом,

возникает вследствие взаимодействия электрона с фотонами и описывается в рамках

квантовой электродинамики. Аномальными М. м. обладают и др. элементарные

частицы; особенно велики они для адронов, которые, согласно совр. представлениям,

имеют внутр. структуру. Так, аномальный М. м. протона в 2,79 раза больше

нормального – ядерного магнетона

$\mu_{\text{я}} = e\hbar/2m_p c$  (

$m_p$  – масса протона), М. м. нейтрона равен

$1,91\mu_{\text{я}}$ , т. е. существенно отличен от нуля, хотя нейтрон не обладает электр.

зарядом. Такие большие аномальные М. м. адронов обусловлены внутр. движением

входящих в их состав заряженных кварков.

М. м. атомных ядер складываются из М. м. протонов и нейтронов, образующих эти

ядра. М. м. ядер в тысячи раз меньше М. м. электронов в атомах, поэтому М. м. атомов

и молекул определяются в осн. спиновыми и орбитальными М. м. электронов.

Квантовая механика в полном соответствии с экспериментом предсказывает, что

величины М. м. и значения проекций М. м. на внешнее магнитное поле у отд.

элементарных частиц и у электронов в атомах могут принимать (в отличие от классич. макроскопических М. м.) только вполне определённые дискретные значения.

М. м. атомов определяются с помощью правил сложения М. м. электронов. Существует два способа сложения. В первом способе – для каждого электрона по правилам векторного сложения суммируются

$\mu_L$  и

$\mu_S$ , а затем суммарные моменты отд. электронов складываются в полный момент атома

$\mu_j$  (

$j$  – главное квантовое число атома). Во втором – отдельно суммируются

$\mu_L$  всех электронов и

$\mu_S$  всех электронов, затем полученные результирующие моменты суммируются в полный момент атома

$\mu_j$ . В зависимости от величины магнитного взаимодействия между

$\mu_L$  и

$\mu_S$  (спин-орбитального взаимодействия) применяется тот или иной способ сложения.

Для характеристики магнитного состояния макроскопич. тел вычисляется ср.

значение результирующего М. м. всех образующих тело микрочастиц. М. м. единицы

объёма тела называется намагниченностью. Для макроскопич. тел, особенно для тел с

магнитной структурой атомной (ферро-, ферри- и антиферромагнетиков), вводят

понятие ср. атомного М. м. как ср. значения М. м., приходящегося на 1 атом (ион).

Обычно ср. атомные М. м. отличаются от М. м. изолированных атомов; их значения в

$\mu_B$  оказываются дробными (напр., у Fe, Co и Ni они равны соответственно

2,218 $\mu_B$ ,

1,715 $\mu_B$  и

0,604 $\mu_B$ ).

## Литература

Лит.: Вонсовский С. В. Магнетизм микрочастиц. М., 1973; Тамм И. Е. Основы теории электричества. 11-е изд. М., 2003; Сивухин Д. В. Общий курс физики. 3-е изд. М., 2006. Т. 5: Атомная и ядерная физика; Окунь Л. Б. Лептоны и кварки. 4-е изд. М.,

2008.

Processing math: 100%