

## К вопросу о магнитных зарядах

А.С. Чуев, к.т.н.,

доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аннотация: Рассмотрен вариант признания физической величины, называемой токовым элементом, в качестве «магнитного заряда», служащего источником магнитного поля. Эта физическая величина своей размерностью ( $LI$ ) одинаково характеризует линейный и объемный токовые элементы, а также движущиеся электрические заряды. Имеются системные предпосылки обнаружения квантуемости данной физической величины и выявления элементарного «магнитного заряда». Магнитный дипольный момент, который по большинству своих свойств аналогичен электрическому дипольному моменту, для роли «магнитного заряда» менее подходит.

Ключевые слова: магнетизм, магнитные заряды, магнитное поле.

Общеизвестно, что магнитных зарядов нет, они не существуют. Но парадокс в том, что магнитные поля есть и, следовательно, существуют источники магнитного поля, среди которых и следует искать то, что можно признать или назвать «магнитными зарядами» («МЗ»). Вопрос состоит в том, чтобы правильно определиться с источниками магнитного поля (МП) и свойствами «МЗ», которые неизбежно будут отличаться от свойств известных нам зарядов, создающих поля центрального типа. Ведь поля, создаваемые искомыми «МЗ» не потенциальные, а вихревые.

На сегодняшний день известны три типа источников МП: движущиеся электрические заряды, проводники с электрическим током и постоянные магниты. Несмотря на различия в источниках, магнитные поля ими образуемые по своим качественным характеристикам ничем не отличаются. Однако положительного ответа на вопрос о единстве источников МП в настоящее время нет, этот вопрос до сих пор остается открытым.

Есть мнение (господствующее в сегодняшней науке), что магнетизм это релятивистский эффект проявления электрических свойств материи, поэтому источников МП кроме тех же электрических зарядов не существует и искать их бессмысленно. Есть другие мнения на этот счет [1, 2], если есть источники поля, то среди них и надо искать пресловутые «МЗ». Известна также гипотеза Дирака о существовании магнитных монополей [3], но они до сих пор реально не обнаружены.

Своеобразными «МЗ» (источниками МП) можно признать движущиеся *электрические заряды*, а также линейные и объемные *токовые элементы*, которые идентичны по размерности величине их единиц измерения в СИ и направлению как векторных величин ( $q\mathbf{v} = \mathbf{I} = \mathbf{j}V$ ). Имеются системные основания предполагать квантуемость *токовых элементов*, поскольку в размерностной системе физических величин и закономерностей эта величина расположена в ряду сохраняющихся и квантуемых величин [4, 5]. Величина элементарного кванта *токового элемента* определяется элементарным зарядом, скоростью света и постоянной тонкой структуры [1]. Поясним, что квантуемость (в отличие от дискретности или прерывности) понимается автором как изменение физической величины отдельными долями или порциями, целочисленно кратными некой элементарной доле (кванту), меньше которой данная величина не существует.

Среди магнитных величин просматривается и другой вариант признания «МЗ», – принять в этом в качестве *магнитные дипольные моменты*, которые аналогично *электрическим зарядам* свойственны материальным образованиям, в том числе, отдельным элементарным частицам и их системам (атомам и молекулам). Отдельные микрочастицы могут не иметь *электрического заряда*, но *магнитный дипольный момент* у них обязательно есть (пример, нейтрон). Известно, что этот параметр обладает свойством дискретности, физически близкой квантуемости.

Рассмотрим и оценим перспективы признания в качестве «МЗ» приведенных выше физических величин.

Рассмотрим первый вариант представления «МЗ» в виде *токовых элементов*. При их использовании, по аналогии с параметрами электрического поля ( $\mathbf{E}$  и  $\varphi$ ), вполне логично определяются силовая и энергетическая характеристики МП. В сегодняшних терминах и обозначениях это *магнитная индукция*  $\mathbf{B}$  и *векторный потенциал*  $\mathbf{A}$ .

Со стороны пробного *токового элемента* эти параметры представимы в скалярном виде следующими выражениями:

$$\mathbf{B} = \frac{\Delta F}{(j\Delta V)_{\text{пр}}}, \quad \mathbf{A} = -\frac{\Delta W}{(j\Delta V)_{\text{пр}}} \quad (2)$$

Однако в отличие от подобных параметров для электрического поля выражения (2) лишь частично определяют силовую и энергетическую характеристики магнитного поля. Эти выражения не содержат векторного определения физических величин  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$ . Кроме того, данные определения зависят от ориентации пробного *токового элемента* относительно направления силовой линии МП, поэтому они пригодны лишь для определения максимальных значений этих параметров.

В определении параметров МП со стороны *токовых элементов*, создающих поле, положение, вроде бы, значительно лучше. Элементарные составляющие вектора *магнитной индукции*  $d\mathbf{B}$  на расстоянии  $r$  от токового элемента определяются известным законом Био-Савара-Лапласа

$$d\mathbf{B} = \mu\mu_0 \frac{[\mathbf{j}dV, \mathbf{e}_r]}{4\pi r^2}. \quad (3)$$

Здесь  $\mathbf{e}_r$  – единичный вектор по направлению радиуса  $r$ , соединяющего местоположение элементарного вектора  $d\mathbf{B}$  с элементарным *токовым элементом*  $\mathbf{j}dV$ . Интегральные значения вектора  $\mathbf{B}$  (одинаковые по модулю) образуют по этому выражению пространственную фигуру в виде тора (или бублика без отверстия). Силовое взаимодействие отдельных *токовых элементов*, образующих такое поле, описывается известным законом Ампера, а общее поле системы таких токовых элементов подчиняется принципу суперпозиции.

Другой магнитный вектор  $\mathbf{H}$ , называемый *напряженностью магнитного поля*, определяется тем же законом, но без участия абсолютной магнитной проницаемости  $\mu\mu_0$ , отражающей наличие среды, заполняющей пространство от токового элемента  $\mathbf{j}dV$  до места расположения элементарного вектора  $d\mathbf{H}$ , определяемого радиус-вектором  $\mathbf{r} = r \cdot \mathbf{e}_r$

$$d\mathbf{H} = \frac{[\mathbf{j}dV, \mathbf{e}_r]}{4\pi r^2}. \quad (4)$$

Согласно этому выражению вектор  $\mathbf{H}$ , в отличие от вектора  $\mathbf{B}$ , не зависит от параметров среды.

Третий вектор – вектор *намагниченности*  $\mathbf{J}$  вещественных сред, создаваемый линейным или объемным *токовым элементом*, может быть определен выражением, схожим с выражениями (3) и (4)

$$d\mathbf{J} = \frac{[\mathbf{e}_r, \mathbf{j}dV]}{4\pi r^2}. \quad (5)$$

Однако, равенство модулей и противоположную направленность элементарных векторов  $d\mathbf{H}$  и  $d\mathbf{J}$ , определяемых двумя последними выражениями, физически трудно интерпретировать. Поэтому *намагниченность* (вещественную) обычно определяют как объемную плотность суммарного вектора *магнитных дипольных моментов*  $\sum \mathbf{P}_m = \sum I S \mathbf{n}$ , присутствующих в рассматриваемом объеме  $V$

$$\mathbf{J} = \frac{\sum \mathbf{P}_m}{V} = \frac{\sum I S \mathbf{n}}{V} . \quad (6)$$

Этот вариант представления вектора  $\mathbf{J}$  физически очень понятен и наводит на мысль о возможности признания «магнитными зарядами» магнитных дипольных моментов. Вполне очевидно, что векторы  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$  тоже можно выразить посредством магнитных дипольных моментов. Вектор  $\mathbf{H}$ , имеющий одинаковую с вектором  $\mathbf{J}$  размерность, можно считать своеобразной намагниченностью вакуума [6, 7]

$$\mathbf{J}_{\text{вак}} = \frac{\sum \mathbf{P}_m^{\text{вирт}}}{V} . \quad (7)$$

В этом выражении  $\sum \mathbf{P}_m^{\text{вирт}}$  - сумма магнитных дипольных моментов, принадлежащих виртуальным частицам вакуума.

Тогда известное соотношение между тремя векторами МП получает вид

$$\frac{\mathbf{B}}{\mu_0} = \mathbf{H} + \mathbf{J} = \mathbf{J}_{\text{вак}} + \mathbf{J} . \quad (8)$$

По этому соотношению  $\frac{\mathbf{B}}{\mu_0}$ , как суммарный вектор, тоже есть намагниченность, поскольку включает в себя две намагниченности – вакуума ( $\mathbf{H} = \mathbf{J}_{\text{вак}}$ ) и вещества ( $\mathbf{J}$ ). Все это позволяет признать вектор  $\mathbf{B}$ , считавшийся до сих пор главным полевым вектором магнетизма, фиктивным вспомогательным вектором, который своего самостоятельного физического смысла не имеет [7, 8].

Магнитные поля токовых и чисто магнитных диполей очень похожи и имеют своеобразное строение, показанное на рис.1.

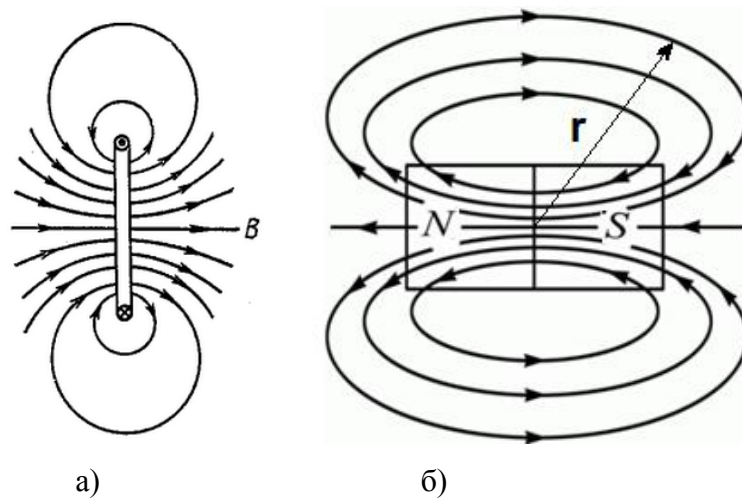


Рис.1. Конфигурация МП одиночного витка с током – а) и магнита – б).

Поле кольцевого тока в основном сконцентрировано внутри кольца, располагаясь симметрично относительно его оси. Вне кольцевого тока линии МП искривляются, образуя более слабое внешнее поле диполя, которое направлено прямо противоположно его внутреннему полю (рис.1а). Подобную конфигурацию МП имеют и постоянные магниты линейной формы (рис.1б), которые можно рассматривать как совокупность множества однонаправленных магнитных диполей, создающих суммарный вектор *магнитного дипольного момента*  $\mathbf{p}_m = \sum \mathbf{p}_{m_i}$ . Модуль вектора *индукции* внешнего МП диполя убывает обратно пропорционально третьей степени расстояния от центра диполя, обладающего магнитным дипольным моментом  $\mathbf{p}_m = I\mathbf{S}\mathbf{n}$ , по закону

$$B(r) = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{p_m}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\alpha} . \quad (9)$$

Заметим, что для данного варианта представления «МЗ» имеются и подходящие элементарные *заряды* – это ядерный магнетон и магнетон Бора, причисляемые к фундаментальным физическим константам. Кроме того, если представлять «МЗ» *магнитным дипольным моментом*, то он оказывается модельно представимым, чего мы до сих пор не можем сказать об элементарном *электрическом заряде*. Правда, физическую сущность электрического тока мы тоже пока понимаем весьма приближенно, хотя и научились создавать электрические токи, а также управлять и пользоваться ими.

Попробуем сформулировать основные параметры МП применительно к данному варианту «МЗ». Будем считать, что требуется определить силовую и энергетическую характеристики МП. Постараемся сформулировать, как это принято, с двух сторон – со стороны пробного элемента и со стороны элемента, создающего поле. Хотя, надо заметить, для магнитного поля имеющего вихревой характер, использование энергетической характеристики, аналогичной потенциальному полю, может оказаться невозможным.

Силовая характеристика вихревого МП (вектор  $\mathbf{B}$ ) со стороны пробного «МЗ» легко определяется как отношение максимального крутящего *момента*, действующего на магнитный диполь, к величине его *магнитного дипольного момента*. Такое определение модуля вектора  $\mathbf{B}$  известно и зачастую используется взамен определяющего выражения (2)

$$B = \frac{M_{кр}}{(P_m)_{пр}} . \quad (10)$$

С определением направления вектора  $\mathbf{B}$  по этому соотношению тоже больших проблем не возникает – все три величины векторные, а их произведение определяется правой тройкой векторов

$$\mathbf{M}_{\text{кр}} = [\mathbf{P}_m, \mathbf{B}]. \quad (11)$$

Однако, если попытаться определить энергетическую характеристику МП (коей мы склонны считать вектор  $\mathbf{A}$ ) как энергию переноса определенным образом ориентированного пробного «магнитного заряда» из бесконечно удаленной точки в данную точку поля, то возникают осложнения размерностного плана.

Отношение энергии к магнитному моменту пробного тела получает ту же размерность, что и силовая характеристика МП по выражению (10). Получается полное совпадение размерностей векторов  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$ , что противоречит известному их соотношению  $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$ .

В книге Дж. Джексона [9, стр. 122] в разделе, посвященном мультиполям и энергии распределения зарядов во внешнем поле, приводится следующее выражение: «... энергия заряда определяется потенциалом, диполя – электрическим полем, квадруполь – градиентом поля и т.д.». Таким образом, попытки определения энергетической характеристики магнитного поля, при использовании в качестве «пробного заряда» магнитного диполя, очевидно, заранее обречены на неудачу.

С системно-размерностной точки зрения возможно определение скалярной величины вектора  $\mathbf{A}$  как отношения *потенциального действия* (произведения силы  $F$  на площадь  $S$ ) к величине *магнитного момента*  $(P_m)_{\text{пр}}$  пробного элемента МП

$$A = \frac{F \cdot S}{(P_m)_{\text{пр}}}. \quad (12)$$

Все величины, входящие в правую часть выражения (12), обладают физической значимостью. Однако оправданность использования не *энергии*, а новой физической величины – *потенциального действия* [10] для определения векторного потенциала, причем еще и в качестве параметра, характеризующего поведение магнитного диполя в вихревом МП, совсем уж непривычно и требует детального изучения.

Далее покажем как определяются магнитные полевые векторы  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$  со стороны «МЗ», представляемого магнитным дипольным моментом и выполняющего роль источника поля. Эти определения известны и применяются на практике. Векторный потенциал  $\mathbf{A}$ , создаваемый *магнитным дипольным моментом*  $\mathbf{p}_m$  (активным «МЗ») в точке, отстоящей на расстоянии  $r$  от центра магнитного диполя, определяется [11, стр. 265] выражением

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}) = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{[\mathbf{p}_m, \mathbf{e}_r]}{r^2}. \quad (13)$$

Конфигурация поля вектора **A**, направление которого в каждой точке поля считается совпадающим с ближайшим направлением кольцевого тока, создающего *магнитный дипольный момент* и одновременно перпендикулярного вектору **B** (в этой точке поля), будет похоже на бублик без осевого отверстия. Вполне понятно, что поле вектора **A** тоже нецентрального типа.

Конфигурация поля вектора *магнитной индукции* **B** (см. рис.1) в любой точке на расстоянии *r* от центра диполя определяется более сложной формулой [11]

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{3\mathbf{e}_r(\mathbf{e}_r \cdot \mathbf{p}_m) - \mathbf{p}_m}{r^3}. \quad (14)$$

Для токового магнитного диполя, порождающего поле вектора **H**, будет действительна та же формула, но без участия  $\mu$  и  $\mu_0$ .

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \frac{3\mathbf{e}_r(\mathbf{e}_r \cdot \mathbf{p}_m) - \mathbf{p}_m}{4\pi r^3}. \quad (15)$$

Считать поле вектора **H** присущим постоянным магнитам, что зачастую делается, по мнению автора, ошибочно []. Когда в теории магнетизма придерживались концепции разнополярных «магнитных зарядов» такие взгляды находили определенное оправдание, но сегодня физического оправдания таким взглядам просто не существует.

Следует отметить еще одно обстоятельство, связанное с магнитными диполями. Формулы (9), (14) и (15), описывающие поле магнитных диполей, совпадают по форме и структуре с аналогичными формулами, описывающими электростатическое поле электрических диполей. Это дает основание для установления их полной аналогии. Из этого следует вывод, что роль «МЗ» наиболее подходит для токовых элементов.

В заключение можно сформулировать следующие выводы.

1. Магнитные поля имеют свои источники, но не обладают центральной симметрией. Поэтому обнаружить магнитные заряды, подобные электрическим, не представляется возможным.

2. Физической величиной, которую следует признать «магнитным зарядом», является токовый элемент, имеющий размерность LI. Токовый элемент, представляемый в виде линейного и объемного токовых элементов, а также движущегося элементарного электрического заряда, имеет системные предпосылки обнаружения квантуемости. По аналогии с элементарным электрическим зарядом, «МЗ» в виде токовых элементов служат источниками магнитного поля и испытывают силовое воздействие во внешних магнитных полях.

3. Магнитный дипольный момент, который по большинству своих свойств аналогичен электрическому дипольному моменту, для роли «магнитного заряда» менее подходит.

#### Список литературы

1. Чуев А.С. Физическая картина мира в размерности «длина-время». Серия «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: СИНТЕГ, 1999. 96 с.
2. Коган И.Ш. Токовый заряд в роли причины возникновения магнитного поля. URL: <http://www.physicalsystems.org/index07.04.4.1.html> (дата обращения 04.05.2015).
3. Коулмен С. Магнитный монополь пятьдесят лет спустя. УФН. Том 144, вып.2. Октябрь 1984. URL: <http://ufn.ru/ru/articles/1984/10/d/> (дата обращения 04.05.2015).
4. Чуев А.С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними. *Законодательная и прикладная метрология*. №3. 2007. С. 30-33.
5. Чуев А.С. О системной размерностной классификации физических величин и попытке осмысления некоторых электромагнитных величин. Электронный ресурс URL: <http://mail.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10816.html> (дата обращения 04.05.2015).
6. Чуев А.С. Описание электромагнитных волн в вакууме с использованием физических величин поляризованность и намагниченность. *Наука и образование*. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/425164.html> (дата обращения 04.05.2015).
7. Чуев А.С. О системном и физическом делении электромагнитных величин, относимых традиционно к группе полевых. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 7. URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/physics/1295.html> (дата обращения 04.05.2015).
8. Чуев А.С. Полевые электромагнитные величины – фантом или реальность? *Законодательная и прикладная метрология*, 2012, №3, с. 71-75.
9. Джексон Дж. Классическая электродинамика. Перевод с англ. М.: МИР. 1965. 702 с.
10. Чуев А.С. О разновидности физических величин «действие». Труды 6-й Всероссийской конференции «Необратимые процессы в природе и технике». 26-28 января 2011 г. В 3-х частях. Ч. III. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Стр. 132-135.
11. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: «ОНИКС 21 век». 2005. 263 с.