

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

PAVLOV Valentin Dmitrievich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific and Information Department, Vladimir Electromechanical Plant, 127, Noyabrskaya st., Vladimir, 600901, Russia. E-mail: pavlov.val.75@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Pavlov V.D. Interpretation of magnetic flux quantum measurement results // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 1 (25), pp. 61–67.

УДК 537.611

**МАГНИТНЫЙ ЗАРЯД. ОСЕВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ПРОВОДНИКОВ С ТОКАМИ**

И.П. Попов

Курганский государственный университет (г. Курган)

© Попов И.П., 2025

Аннотация. В статье отмечено, что сила полевого взаимодействия двух точечных не векторных объектов (гравитационная или электростатическая) зависит от величины зарядов, под которыми понимается масса или электрический заряд. При этом проблем с определением напряженности поля путем деления силы на заряд не возникает, поскольку эта операция не затрагивает векторы. Показано, что иначе обстоит дело с магнитным взаимодействием. При попытке определения напряженности путем исключения из формулы для силы векторной величины возникает проблема с оставшимися двумя векторами, состоящая в том, что они не могут взаимодействовать друг с другом (образовывать векторное или скалярное произведение). Обозначено, что классическая схема исключает какие-либо трудности при определении магнитных зарядов и монополей. Установлено, что, кроме взаимодействия между параллельными проводниками с токами, существует осевое взаимодействие.

Ключевые слова: скрытые и комбинированные векторы, поле, монополь, заряд, сила, напряженность.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-67-73

ВВЕДЕНИЕ

Сила полевого взаимодействия двух точечных не векторных объектов (гравитационная или электростатическая) определяется выражением

$$d\mathbf{F}_{12} = k \frac{g_1 g_2}{4\pi r^3} \mathbf{r}_{12}, \quad (1)$$

где g – масса или электрический заряд [1–3]. При этом проблем с определением напряженности поля путем деления величины (1) на g_1 или g_2 не возникает, поскольку эта операция не затрагивает векторы.

Иначе обстоит дело с магнитным взаимодействием. Далее будет показано, что эта сила определяется формулой

$$d\mathbf{F}_{12} = -d\mathbf{F}_{21} = -\frac{\mu_0 \mu_1 \mu_2}{4\pi r^3} (d\mathbf{l}_1, d\mathbf{l}_2) \mathbf{r}_{12}. \quad (2)$$

При попытке определения напряженности путем исключения из формулы (2), например, величины $I_2 d\mathbf{l}_2$ возникает проблема с оставшимися двумя векторами. Эта проблема заключается в том, что $I_1 d\mathbf{l}_1$ не может взаимодействовать с вектором $\mathbf{r}$ (образовывать векторное или скалярное произведение), потому что в действительности он «занят» – в соответствии с выражением (2) он образует скалярное произведение с $I_2 d\mathbf{l}_2$.

П.-С. Лаплас не увидел этой проблемы. По существу он исключил из формулы $I_2 d\mathbf{l}_2$, а $I_1 d\mathbf{l}_1$ связал с $\mathbf{r}$ операцией векторного произведения. Неправомерность и произвол этого решения не только ошибочны сами по себе, но и породили существующие противоречия электродинамики (в частности, нарушение третьего закона Ньютона).

Проблема решается использованием *скрытых векторов*:

$$\{\mathbf{p}\} = \{\mathbf{i}p_x + \mathbf{j}p_y + \mathbf{k}p_z\}.$$

Скрытый вектор не имеет явного направления подобно вектору. В этом смысле он похож на скаляр. В то же время он несет сведения о содержащемся в нем векторе, в том числе о его направлении. В какой-то мере его можно рассматривать как законсервированный вектор. Вектор, скрытый вектор и скаляр не складываются.

Скрытый вектор можно умножать на скаляр и на вектор. В последнем случае имеет место *комбинированный вектор*:

$$\mathbf{b}_u^{\{\mathbf{p}\}} = b \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u}.$$

Верхний и нижний индексы включают сведения о скрытом векторе и векторе соответственно.

При умножении скрытого вектора и вектора первый неотличим от скаляра.

Использование скрытого вектора позволяет представить напряженность магнитного поля путем преобразования формулы (2) следующим образом:

$$d\mathbf{H}_r^{\{Id\mathbf{l}\}} = -\frac{\mu_0 \mu}{4\pi r^3} \{Id\mathbf{l}\} \mathbf{r}.$$

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Особенности скрытых векторов. Некоторые формулы

$$|\mathbf{e}_u^{\{\mathbf{p}\}}| = e.$$

$$\mathbf{u}_u^{\{\mathbf{p}\}} = \mathbf{u}^{\{\mathbf{p}\}} = \mathbf{u} \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\}.$$

$$\mathbf{p}_u^{\{\mathbf{p}\}} = \{\mathbf{p}\} \frac{\mathbf{u}}{u}.$$

$$e\{\mathbf{p}\} = \{e\mathbf{p}\}.$$

К скрытым векторам применяются все векторные операции.

Скрытый вектор подобно скаляру можно алгебраически умножать на вектор.

В операциях с комбинированными векторами следует применять комбинированные знаки операций: « $\{\cdot\} \cdot$ », « $\{\cdot\} \times$ », « $\{\times\} \cdot$ », « $\{\times\} \times$ », « $\{+\} +$ », « $\{\times\} +$ », « $\{+\} \times$ », « $\{\cdot\} +$ », « $\{+\} \cdot$ ».

Знак в фигурных скобках касается скрытых векторов. Другой знак относится к векторам. Если комбинированный вектор умножается на скрытый вектор, фигурные скобки можно не применять.

Фигурные скобки могут быть аннулированы вторыми фигурными скобками $\{e\{\mathbf{p}\}\} = e\mathbf{p}$.

При наличии векторной составляющей $\mathbf{u}$ комбинированного вектора фигурные скобки аннулировать нельзя, кроме случаев, когда выражение в фигурных скобках превращается в скаляр, например:

$$\mathbf{p}_u^{\{\mathbf{p}\}} \{\cdot\} + \mathbf{q}_v^{\{\mathbf{q}\}} = \{\mathbf{p}\} \frac{\mathbf{u}}{u} \{\cdot\} + \{\mathbf{q}\} \frac{\mathbf{v}}{v} = \{\mathbf{p} \cdot \mathbf{q}\} \left(\frac{\mathbf{u}}{u} + \frac{\mathbf{v}}{v} \right) = pq \cos(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \left(\frac{\mathbf{u}}{u} + \frac{\mathbf{v}}{v} \right).$$

Аннулирование фигурных скобок не должно приводить к тому, чтобы одна часть равенства была векторной, а другая скалярной.

$$\mathbf{e}_u^{\{\mathbf{p}\}} + \mathbf{b}_v^{\{\mathbf{p}\}} = e \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} + b \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \frac{\mathbf{v}}{v} = \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \left(e \frac{\mathbf{u}}{u} + b \frac{\mathbf{v}}{v} \right) = \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \mathbf{c} = \mathbf{c}^{\{\mathbf{p}\}}.$$

$$\mathbf{e}_u^{\{\mathbf{p}\}} + \mathbf{b}_u^{\{\mathbf{q}\}} = e \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} + b \left\{ \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} = \frac{\mathbf{u}}{u} \left\{ e \frac{\mathbf{p}}{p} + b \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} = \frac{\mathbf{u}}{u} \{\mathbf{c}\} = c \left\{ \frac{\mathbf{c}}{c} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} = \mathbf{c}_u^{\{\mathbf{c}\}}.$$

$$\mathbf{e}^{\{\mathbf{p}\}} + \mathbf{e}^{\{\mathbf{q}\}} = \mathbf{e} \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} + \mathbf{e} \left\{ \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} = \mathbf{e} \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} + \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} = \mathbf{e} \{\mathbf{r}\} = \mathbf{e}^{\{\mathbf{r}\}}.$$

$$\{\mathbf{p}\} + \{\mathbf{q}\} = \{\mathbf{q}\} + \{\mathbf{p}\} = \{\mathbf{p} + \mathbf{q}\}.$$

$$\mathbf{e}_u^{\{\mathbf{p}\}} \cdot \mathbf{b}^{\{\mathbf{q}\}} = e \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} \cdot b \left\{ \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} = eb \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \cdot \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} = eb \left(\frac{\mathbf{p}}{p} \cdot \frac{\mathbf{q}}{q} \right) \frac{\mathbf{u}}{u} = c \frac{\mathbf{u}}{u} = \mathbf{c}_u.$$

$$\{\mathbf{p}\} \cdot \{\mathbf{q}\} = \{\mathbf{p} \cdot \mathbf{q}\} = \mathbf{p} \cdot \mathbf{q}.$$

$$\mathbf{e}_u^{\{\mathbf{p}\}} \times \mathbf{b}^{\{\mathbf{q}\}} = e \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} \times b \left\{ \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} = eb \left\{ \frac{\mathbf{p}}{p} \times \frac{\mathbf{q}}{q} \right\} \frac{\mathbf{u}}{u} = \mathbf{c}_u^{\{\mathbf{r}\}}.$$

$$\{\mathbf{p}\} \times \{\mathbf{q}\} = \{\mathbf{p} \times \mathbf{q}\}.$$

$$\mathbf{e}_u^{\{\mathbf{p}\}} \times \mathbf{b}^{\{\mathbf{p}\}} = 0.$$

$$\{\nabla\} e = \left\{ \mathbf{i} \frac{\partial e}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial e}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial e}{\partial z} \right\}.$$

$$\{\nabla\} \cdot \{\mathbf{p}\} = \left\{ \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial p_z}{\partial z} \right\} = \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial p_z}{\partial z} = \nabla \cdot \mathbf{p}.$$

$$\{\nabla\} \times \{\mathbf{p}\} = \{\nabla \times \mathbf{p}\}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Классическая и лапласова схемы

Исторически теория силового поля (гравитационного или электростатического) строилась по следующей схеме:

1. Определяли два монополя (массивные или заряженные тела), обладающие соответствующими зарядами (массами или электрическими зарядами) и имеющие, что важно, *одинаковую* (причем *простейшую*) форму [4–6].

2. Находили силу взаимодействия между монополями [7–10].

3. Определяли напряженность поля одного из монополей как силу его взаимодействия с монополем, обладающим единичным зарядом.

4. Находили другие параметры поля: энергию, потенциал, индукцию и т.д.

Вопрос установления монополя и заряда в этом случае не возникает, поскольку они являются *первичными* и определяющими объектами при построении теории этого поля (другими словами, они определены изначально).

Если построить теорию поля (гравитационного или электростатического), рассматривая взаимодействие *неодинаковых* по форме объектов (например, цилиндра и тора), то, во-первых, математическая модель поля существенно исказится, а во-вторых, вопрос с установлением монополя станет по меньшей мере двусмысленным.

Приведенных рассуждений практически достаточно, чтобы говорить о бесплодности попыток в рамках существующей теории магнитного поля найти магнитный монополь и заряд.

Если построить теорию магнитного поля по приведенной выше *классической* схеме, то проблем с магнитными монополями и зарядом не возникнет по той же причине, по которой они не возникают для теорий гравитационного и электростатического полей.

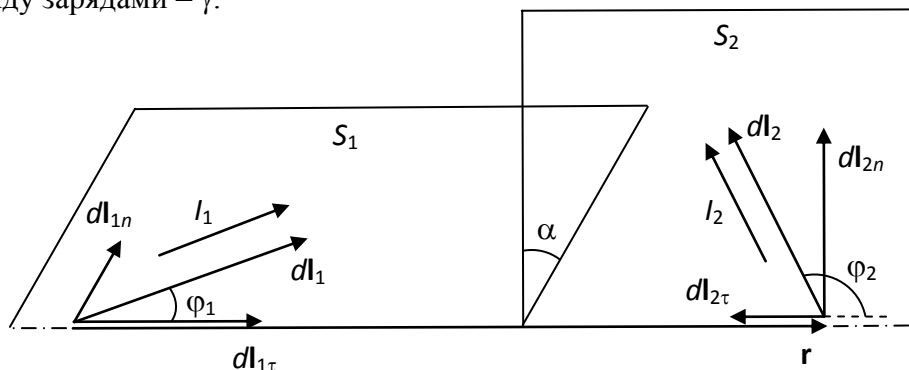
В отличие от Лапласа, который в основу построения теории магнитного поля положил взаимодействие объектов с формой цилиндра (линейный проводник с током) и тора (эквивалентный круговой ток магнита), следует в соответствии с п. 1 классической схемы в качестве *монополей* определить *одинаковые* и *элементарные* объекты, для чего подойдут бесконечно малые элементы проводников с токами, а в качестве *магнитных зарядов* – величины $I_1 d\mathbf{l}_1$ и $I_2 d\mathbf{l}_2$.

Для того чтобы отличать классическую схему построения теории от схемы Лапласа, первую в дальнейшем так и будем называть классической, а вторую – лапласовой.

Следующей задачей (в соответствии с п. 2 классической схемы) является определение силы взаимодействия между магнитными монополями.

Экспериментально подкрепленные данные

Пусть магнитный заряд $I_1 d\mathbf{l}_1$ лежит в плоскости S_1 , а магнитный заряд $I_2 d\mathbf{l}_2$ – в плоскости S_2 (рисунок). Угол между плоскостями – α . Ориентация магнитных зарядов произвольная. Заряды можно разложить на поперечные $I_1 d\mathbf{l}_{1n}$, $I_2 d\mathbf{l}_{2n}$ и продольные $I_1 d\mathbf{l}_{1\tau}$, $I_2 d\mathbf{l}_{2\tau}$ составляющие относительно радиус-вектора $\mathbf{r}$, лежащего на пересечении плоскостей. Угол между зарядами – γ .



Магнитные заряды $I_1 d\mathbf{l}_1$ и $I_2 d\mathbf{l}_2$

Проводились многочисленные эксперименты по определению силы взаимодействия между *параллельными* проводниками с током [11]. Специфика этих экспериментов *не вызывает* сомнений в *достоверности* их результатов. В соответствии с этими результатами для рассматриваемых магнитных зарядов

$$dF_n = -\mu_0 \mu \frac{I_1 dl_{1n} I_2 dl_{2n}}{4\pi r^2} \cos \alpha.$$

Велись многочисленные эксперименты и по определению силы взаимодействия между *соосными* проводниками с током [11]. Специфика этих экспериментов *вызывает* сомнения в *точности* их результатов, поскольку каждый из соосных проводников входит в состав замкнутого контура, поперечные составляющие которого существенно влияют на измерения. В соответствии с этими результатами для рассматриваемых магнитных зарядов

$$dF_\tau = -k_\tau \mu_0 \mu \frac{I_1 dl_{1\tau} I_2 dl_{2\tau}}{4\pi r^2},$$

где k_τ – коэффициент, нуждающийся в уточнении.

Осевое взаимодействие

Если соосные проводники с токами не взаимодействуют, то для них должно выполняться тождество

$$\int_{-\infty}^0 F dr = A = W_0 - W_\infty \equiv 0,$$

где A – работа; W – энергия суммарного поля обоих проводников. Это легко проверить.

При условии $d\mathbf{l}_1 = d\mathbf{l}_2 = d\mathbf{l}$, $I_1 = -I_2$ и $r = \infty$

$$W_\infty = 2\mu_0 \mu \int_V \frac{H^2}{2} dV \neq 0,$$

где H – напряженность поля одного проводника. При $r = 0$

$$W_0 = 0 \text{ и } W_0 - W_\infty \neq 0.$$

Это означает, что соосные проводники с токами взаимодействуют с силой

$$F = \frac{dW}{dr}.$$

Здесь и в дальнейшем, если не оговаривается иное, токи I_1 и I_2 считаются стабилизированными.

Лапласова теория, исключаяющая притяжение или отталкивание соосных проводников с токами, является следствием опытов Ж.-Б. Био и Ф. Савара. Важно, таким образом, установить, зафиксировано ли в этих опытах отсутствие осевого взаимодействия.

В действительности оно не могло быть зафиксировано в принципе, поскольку в этих опытах взаимодействие проводников вообще не изучалось. В них исследовалось влияние магнита на проводник, в результате которого была получена формула

$$F = \frac{mI dl}{r^2} \sin \varphi,$$

где m – магнитная масса. Данная формула не дает информации об осевом взаимодействии проводников.

При размещении магнита на оси элемента $I d\mathbf{l}$ его (магнита) равноценный круговой ток имеет две равные, но противоположные и продольные по отношению к элементу составляющие, каждая из которых взаимодействует с элементом. Магнит, таким образом,

одновременно притягивается и отталкивается, а суммарная сила равна нулю. Следовательно, осевое взаимодействие опытами Био и Савара не опровергается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы было установлено следующее:

описание магнитного взаимодействия не соответствует классической схеме описания полевого взаимодействия;

введение в рассмотрение скрытых и комбинированных векторов создает возможность применения классической схемы для магнитостатики;

классическая схема исключает какие-либо трудности при определении магнитных зарядов и монополей;

кроме взаимодействия между параллельными проводниками с токами, существует осевое взаимодействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Popov I.P. Full Account of the Energy of the Gravitational Field in Cosmology and Spacecraft Ballistics // *Technical Physics*. 2024. V. 69. No. 1. P. 53–56.
2. Попов И.П. Полный учет энергии электростатического поля заряженных сфер // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 1 (21). С. 45–56.
3. Попов И.П. Приоритет электродинамики над механикой на примере второго закона Ньютона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 3 (23). С. 62–69.
4. Попов И.П. Расчет полной энергии электростатического поля // *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2020. Т. 2 № 392. С. 107–114.
5. Попов И.П. Запасаемая электростатическая энергия // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2020. № 33. С. 195–210.
6. Попов И.П. Об энергии электростатического поля // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. № 1 (38). С. 35–41. DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-1-35-41
7. Попов И.П. Постоянная интегрирования энергии электростатического поля // *Вестник Псковского государственного университета. Естественные и физико-математические науки*. 2021. Вып. 17. С. 108–120.
8. Попов И.П. О некоторых расчетах энергии электростатического поля // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. 2020. Т. 8. № 1. С. 2–9.
9. Попов И.П. Энергия электростатического поля заряженных непроводящих шаров // *Вестник Таганрогского института им. А.П. Чехова*. 2021. № 2. С. 27–35.
10. Попов И.П. Применение методов классической механики к электрическим зарядам // *Труды МАИ*. 2021. № 119. URL: <http://mai.ru/> (дата обращения: 23.01.2025).
11. Ампер А.М. Электродинамика. М.: АН СССР, 1954. 492 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ПОПОВ Игорь Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», 640020, Россия, г. Курган, ул. Советская, д. 63/4. E-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Попов И.П. Магнитный заряд. Осевое взаимодействие проводников с токами // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 1 (25). С. 67–73.

**MAGNETIC CHARGE. AXIAL INTERACTION
OF CONDUCTORS WITH CURRENTS**

I.P. Popov

Kurgan State University (Kurgan)

Abstract. The article notes that the force of field interaction between two point non-vector objects (gravitational or electrostatic) depends on the magnitude of charges, which are understood as mass or electric charge. In this case, there are no problems with determining the field strength by dividing the force by the charge, since this operation does not affect vectors. It is shown that the situation is different with magnetic interaction. When trying to determine the strength by excluding the vector quantity from the formula for force, a problem arises with the remaining two vectors, which consists in the fact that they cannot interact with each other (form a vector or scalar product). It is noted that the classical scheme excludes any difficulties in determining magnetic charges and monopoles. It is established that in addition to the interaction between parallel conductors with currents there is an axial interaction.

Keywords: hidden and combined vectors, field, monopole, charge, force, tension.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

POPOV Igor Pavlovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Mechanical Engineering, Machine Tools and Instruments, Kurgan State University, 63/4, Sovetskaja St., Kurgan, 640020, Russia. E-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Popov I.P. Magnetic charge. Axial interaction of conductors with currents // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 1 (25), pp. 67–73.