

Псевдосамодействие и правило эквивалентности в магнитостатике

С. А. Герасимов, В. В. Прядченко

Момент сил Ампера, действующий на незамкнутую систему, равен моменту сил Био-Савара, действующему на ту же систему, плюс момент сил самодействия Био-Савара, с которым система действует сама на себя. Поскольку для сил Ампера справедливо правило равенства и коллинеарности действия и противодействия, то полный момент тех и других сил в замкнутой системе равен нулю.

PACS: 41.20.-q

Ключевые слова: незамкнутая система, момент силы, магнитостатика, замкнутые системы.

Введение

Под самодействием следует понимать, вероятно, явление, при котором полная сила, с которой система действует сама на себя, отлична от нуля.

Герасимов Сергей Анатольевич, доцент.
Прядченко Василий Владимирович, аспирант.
Южный федеральный университет.
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5.
E-mail: GSIM1953@MAIL.RU.

Статья поступила в редакцию 17 февраля 2009 г.

© Герасимов С. А., Прядченко В. В., 2010

Речь, разумеется, может идти лишь о незамкнутой системе. В магнитостатике реальность такого явления в настоящее время можно считать экспериментально подтвержденной [1]. Однако вопрос о связи самодействия с законами сохранения импульса и его момента до конца не закрыт. Один из способов сделать это — рассмотреть соответствие между силовой магнитостатикой, описываемой полуэмпирическим выражением Ампера, и полевой электродинамикой, основанной на формули-

ровке Био-Савара [2, 3]. Известно, что сила Ампера, с которой взаимодействуют два элемента тока, подчиняется принципу равенства и коллинеарности действия и противодействия, а сила Био-Савара — нет. Тем не менее, в случае взаимодействия двух замкнутых токов разница между этими двумя силами исчезает [4].

Следующий результат: в случае взаимодействия двух незамкнутых систем, одна из которых состоит из замкнутого и незамкнутого контуров с током, сила Ампера оказалась равной силе Био-Савара плюс сила самодействия, с которой незамкнутая система действует сама на себя [5]. Наиболее заметно так называемое самодействие проявляется во вращательном режиме, т. е. в измерениях вращательных моментов (моментов сил) [6]. Совершенно очевидно, что традиционная формулировка правила эквивалентности, утверждающая, что любые расчеты, основанные на обеих силах, абсолютно эквивалентны [2], является противоречивой и необоснованной. Еще более абсурдной и лишеной всякого смысла является попытка пересмотра полевой электродинамики со ссылкой на нарушение третьего закона Ньютона [7]. Однако последнее вовсе не означает нарушение законов сохранения импульса или момента импульса. Для наиболее важного и заметного варианта пондеромоторного взаимодействия двух незамкнутых систем [6, 8, 9] правило эквивалентности для моментов сил установлено не было. Есть еще одно обстоятельство, на которое обязательно следует обратить внимание. Взаимодействие двух незамкнутых систем, одна из которых представляет собой замкнутый и незамкнутый электрические токи, отличается отсутствием расходимости сил Био-Савара.

Самодействие в магнитостатике

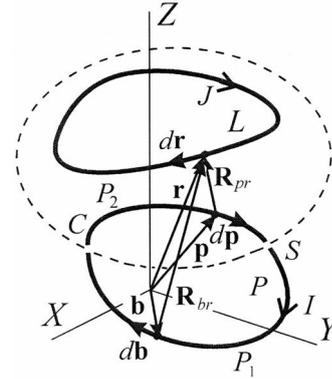
Система двух тел представляет собой замкнутый электрический ток J , текущий по тонкому проводнику L , и часть P_2 замкнутого тонкого электрического проводника P , по которому течет постоянный электрический ток силы I (рисунок). Положения линейных элементов тока Jdr , $I db$ и $I dp$ заданы векторами \mathbf{r} , \mathbf{b} и \mathbf{p} .

Поскольку

$$d \frac{1}{R_{rb}^3} = \frac{3(\mathbf{R}_{rb} d\mathbf{r})}{R_{rb}^5},$$

то

$$d_r \left(\mathbf{R}_{rb} (\mathbf{R}_{rb} db) \frac{1}{R_{rb}^3} \right) = -\frac{d\mathbf{r} (\mathbf{R}_{rb} db)}{R_{rb}^3} - \frac{\mathbf{R}_{rb} (dr db)}{R_{rb}^3} + \frac{3\mathbf{R}_{rb} (\mathbf{R}_{rb} db) (\mathbf{R}_{rb} dr)}{R_{rb}^5}.$$



Геометрия взаимодействия токов

Поэтому сила Ампера $d^2 \mathbf{A}_{br}$, с которой элемент тока $I db$ действует на элемент $J dr$, связана с силой Био-Савара $d^2 \mathbf{F}_{br}$ следующим образом:

$$d^2 \mathbf{A}_{rb} = d^2 \mathbf{F}_{rb} + \frac{IJ}{c^2} d_r \left(\mathbf{R}_{rb} (\mathbf{R}_{rb} db) \frac{1}{R_{rb}^3} \right),$$

где

$$d^2 \mathbf{A}_{rb} = \frac{IJ}{c^2} \left\{ \frac{3}{R_{rb}^5} (\mathbf{R}_{rb} db) (\mathbf{R}_{rb} dr) - \frac{2}{R_{rb}^3} (db dr) \right\} \mathbf{R}_{rb}$$

и

$$d^2 \mathbf{F}_{rb} = \frac{IJ}{c^2 R_{rb}^3} [db \times [dr \times \mathbf{R}_{rb}]]$$

силы, с которыми элемент тока $J dr$ действует на $I db$.

Рассмотрим полный момент сил, действующий на систему $L + P_2$, поэтому, учитывая, что

$$d^2 \mathbf{A}_{br} = -d^2 \mathbf{A}_{rb},$$

и умножая $d^2 \mathbf{A}_{br}$ векторно слева на \mathbf{b} , записываем

$$[\mathbf{b} \times d^2 \mathbf{A}_{br}] = -[\mathbf{b} \times d^2 \mathbf{F}_{rb}] - \frac{IJ}{c^2} \left[\mathbf{b} \times d_r \left(\mathbf{R}_{rb} (\mathbf{R}_{rb} db) \frac{1}{R_{rb}^3} \right) \right].$$

Поскольку

$$\mathbf{b} = \mathbf{r} - \mathbf{R}_{br},$$

и так как для силы Ампера

$$[\mathbf{R}_{br} \times d^2 \mathbf{A}_{br}] = 0,$$

то

$$d\mathbf{T}_{br} = -d\mathbf{N}_{rb} - \frac{IJ}{c^2} \left[\mathbf{b} \times d_r \left(\mathbf{R}_{rb} (\mathbf{R}_{rb} db) \frac{1}{R_{rb}^3} \right) \right].$$

Это и есть амперовый момент силы \mathbf{T}_{br} , с которым незамкнутый участок тока SC действует на замкнутый контур L , а \mathbf{N}_{rb} — момент силы Био-Савара, испытываемый незамкнутым участком SC со стороны замкнутого тока L .

Интегрируя последнее выражение по замкнутому контуру L , добавляя и вычитая \mathbf{N}_{br} (момент сил, с которым незамкнутый участок SC действует на замкнутый L), получаем

$$\mathbf{T}_{br} = -\mathbf{N}_{rb} = \mathbf{N}_{br} - \mathbf{N}_{rb} - \mathbf{N}_{br}.$$

А теперь следует учесть, что полный момент сил Био-Савара в замкнутой системе равен нулю:

$$\mathbf{N}_{br} + \mathbf{N}_{rb} + \mathbf{N}_{pr} + \mathbf{N}_{rp} = 0$$

и принять во внимание, что сумма двух последних слагаемых в этом выражении есть полный момент сил Био-Савара, действующий в незамкнутой системе $L+P_2$ (момент сил самодействия \mathbf{N}_S), а $\mathbf{N}_a = \mathbf{N}_{br}$ — момент сил, действующий на эту систему. Получается, что

$$\mathbf{T}_{br} = \mathbf{N}_a + \mathbf{N}_S,$$

другими словами, момент сил Ампера равен моменту сил действия Био-Савара \mathbf{N}_a плюс момент сил самодействия Био-Савара \mathbf{N}_S .

Правило эквивалентности получено. Неравенство нулю момента сил самодействия неоднократно обсуждалось, в том числе и экспериментально [6, 8, 9]. Однако относиться к самодействию как к некому неординарному явлению не следует. Его существование ни к каким нарушениям фундаментальных законов физики не приводит. Если уж на то пошло, то это — псевдосамодействие, поскольку является результатом формализованного подхода в рамках полевой электродинамики. С другой стороны, полученный результат ставит под сомнение любую попытку пересмотра традиционной магнитостатики. Оснований для этого нет никаких.

В настоящей работе не рассматривался момент сил Био-Савара, с которым незамкнутая часть контура P_2 действует сама на себя. Результат известен [3], а выводы настоящей работы не дают повода для его перепроверки или ревизии.

Вывод

Вращательные моменты, создаваемые силами Ампера и Био-Савара, абсолютно эквивалентны только в том случае, когда учтен момент сил самодействия, создаваемый силами Био-Савара.

Литература

1. Cavalleri G., Bettoni G., Tonni E., Spavieri G. Experimental Proof of Standard Electrodynamics of Measuring the Self-Force on a Part of a Current Loop// Phys. Rev. E. 1998. V. 58. No. 2. P. 2505—2517.
2. Christodoulides C. Equivalence of the Ampere and Biot-Savart Force Laws in Magnetostatics// J. Phys. A: Math. Gen. 1987. V. 20. P. 2037—2042.
3. Герасимов С. А. Правило эквивалентности в полевой и силовой магнитостатике// Известия СГУ. Физика. 2007. Т. 7. № 1. С. 40—43.
4. Тамм И. Е. Основы теории электричества. — М.: Наука, 1989. — 620 с.
5. Gerasimov S. A. Self-Interaction and Vector Potential in Magnetostatics// Phys. Scr. 1997. V. 56. No. 3—4. P. 462—464.
6. Gerasimov S. A., Gorokhovikov S. L., Grigorian M. A. A Specific Feature of Unipolar Rotation// Tech. Phys. Lett. 2005. V. 31. No. 1. P. 79—80.
7. Graneau N. The Finite Size of the Metallic Current Element// Phys. Lett. A. 1990. V. 147. No. 2—3. P. 92—96.
8. Das Gupta A. K. Unipolar Machines: Association of the Magnetic Field with the Field-Producing Magnet// Amer. J. Phys. 1963. V. 31. No. 6. P. 428—430.
9. Герасимов С. А., Прядченко В. В. Инверсный парусный эффект в магнитогидродинамике// Вопросы прикладной физики. 2006. № 13. С. 72, 73.

Pseudo-self-action and equivalence rule in magnetostatics

S. A. Gerasimov, V. V. Priadchenko

Southern Federal University, 5 Zorge str., Rostov-na-Donu, 344090, Russia

E-mail: GSIM1953@MAIL.RU

The torque of an unclosed system exerted by the Ampere force equals the sum of Biot-Savart torque acting on the same system and the Biot-Savart self-torque by means of which the system acts on itself. Since the Ampere force satisfies the equality and collinearity of action-reaction that the total torque of both forces is equal to zero in a closed system.

PACS: 41.20.-q

Keywords: non-reserved system, moment of sorce, magnetostatics, reserved system.

Bibliography — 9 references.

Received 17 February 2009