

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

© Томилин А.К.

Контакт с автором: tomilin@ukg.kz

В современной электродинамике существует довольно много парадоксов и необъяснимых явлений. Такая ситуация сохраняется потому, что не решена в общем случае проблема взаимодействия токов, известная со времен Ампера [1-3]. Взаимодействие параллельных токов описано в любом школьном учебнике элементарной физики. Проблемы же взаимодействия непараллельных токов большинство современных физиков предпочитают не касаться. Попытки решения этой проблемы в рамках существующих представлений предприняты в известных учебниках И.Е. Тамма [4], А.Н. Матвеева [5], Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица [6].

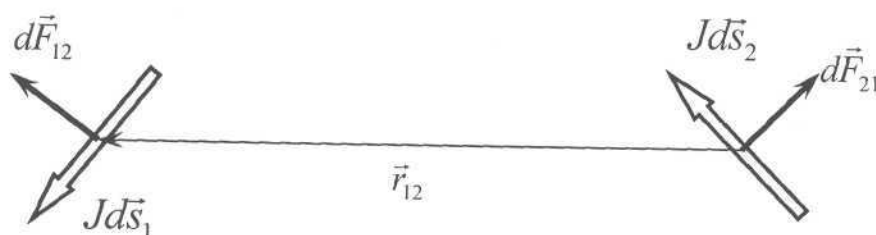


Рис. 1

Обычно отмечают [4], что постоянные токи по необходимости являются замкнутыми и «нарушение третьей аксиомы Ньютона связано лишь с представлением сил взаимодействия токов как сил попарного взаимодействия их элементов». Однако такой подход не исключает возможность рассмотрения отдельного замкнутого контура с током в качестве электромеханической системы. Вопрос об изолированности такой системы является не простым и очень важным. Действительно, взаимодействие элементов тока происходит посредством электромагнитного поля, а наши представления о нем, к сожалению, нельзя считать исчерпывающими. Строго говоря, любая электромеханическая система не является изолированной, так как ее собственное электромагнитное поле связывает ее со всем окружающим материальным миром. Рассмотрим два случая: в первом – электромагнитное излучение отсутствует (стационарный случай), во втором – система излучает.

В стационарном случае, полная энергия (механическая плюс электромагнитная) системы, состоящей из проводников, по которым течет постоянный ток, остается неизменной. Понятно, что в такой изолированной системе для внутренних сил третий закон Ньютона обязательно должен выполняться при рассмотрении взаимодействия любых двух точек, входящих в ее состав. На этом основании вполне закономерно рассматривать силы взаимодействия между двумя элементами тока $J_1 d\vec{s}_1$ и $J_2 d\vec{s}_2$, входящими в состав одного электрического контура и находящимися друг от друга на расстоянии \vec{r}_{12} (вектор \vec{r}_{12} направлен от элемента $J_2 d\vec{s}_2$ к элементу $J_1 d\vec{s}_1$). Первый элемент испытывает силовое воздействие со стороны второго:

$$d\vec{F}_{12} = \frac{\mu_0 \mu J_1 J_2}{4\pi} \frac{d\vec{s}_1 \times (d\vec{s}_2 \times \vec{r}_{12})}{r_{12}^3}, \quad (1)$$

а второй - со стороны первого:

$$d\vec{F}_{21} = \frac{\mu_0 \mu J_1 J_2}{4\pi} \frac{d\vec{s}_2 \times (d\vec{s}_1 \times \vec{r}_{21})}{r_{21}^3}, \quad (2)$$

при этом $\vec{r}_{21} = -\vec{r}_{12}$.

Из рис. 1 видно, что действующие на токовые элементы силы в общем случае не расположены на параллельных линиях действия, что не соответствует третьему закону Ньютона. Особенно сильно это несоответствие проявляется при рассмотрении взаимодействия участков токов, расположенных перпендикулярно друг другу. В этом случае $\vec{F}_{12} \neq 0$, а $\vec{F}_{21} = 0$ поскольку $(d\vec{s}_1 \times \vec{r}_{21}) = 0$, то есть второй элемент с первым взаимодействует, а первый со вторым – нет.

Заметим, что в отличие от большинства современных физиков, Ампер придавал этой проблеме первостепенное значение. Можно сказать без преувеличения, что большая часть его трактата «Электродинамика» [1], насчитывающего около 500 страниц, посвящена именно проблеме взаимодействия элементов токов в зависимости от их взаимного расположения.

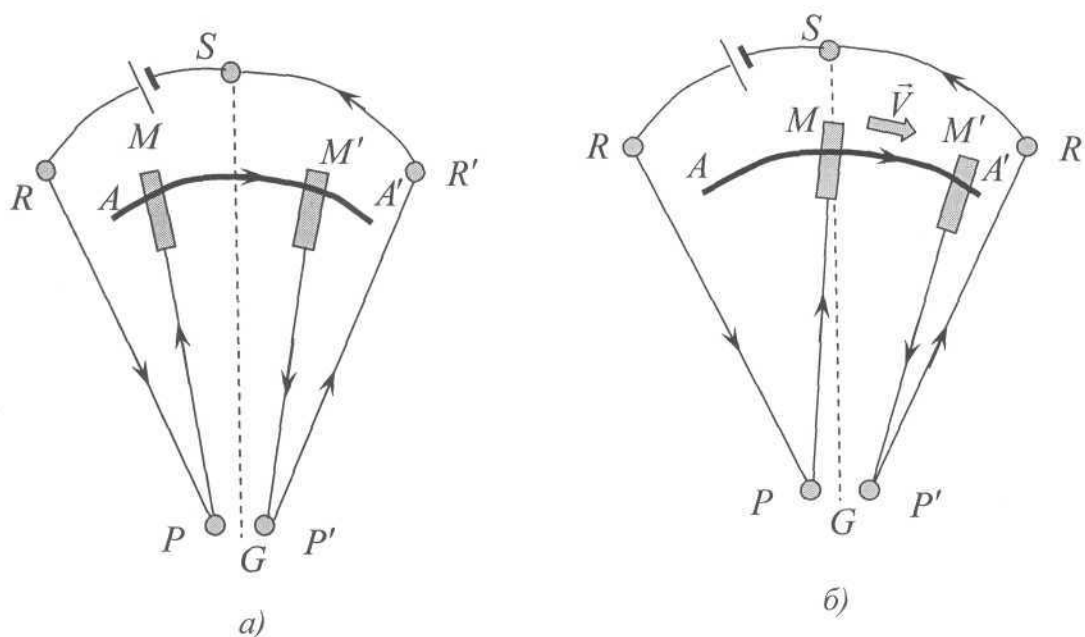


Рис. 2

Обратимся к двум экспериментам Ампера. Принципиальная схема первого эксперимента изображена на рис. 2. Здесь сохранены обозначения, введенные Ампером. Поскольку конструкция позволяет расположить точки P и P' предельно близко, их можно считать совпадающими и условно выделить два замкнутых контура $RPR'SR$ и $PMM'P$. Желобки M и M' заполнены ртутью, на поверхности которой плавает дуговой проводник AA' , подвешенный таким образом, что может вращаться вокруг точки G . Если указанные контуры расположены симметрично относительно линии GS (случай а), то проводник AA' остается неподвижным. Если же внутренний контур повернуть вокруг точки G , нарушив симметрию в расположении контуров (случай б), то, как пишет Ампер «...дуга приходит в движение и скользит по ртути желобков M , M' вследствие действия замкнутого криволинейного тока, идущего из

R' в S ». К объяснению этого эксперимента мы еще вернемся. Сейчас достаточно подчеркнуть, что в эксперименте наблюдается движение проводника вдоль тока, текущего в нем.

В соответствии с формулами (1) и (2) участки тока, расположенные на одной линии, не должны взаимодействовать друг с другом. Приведем эксперимент Ампера, опровергающий этот вывод.

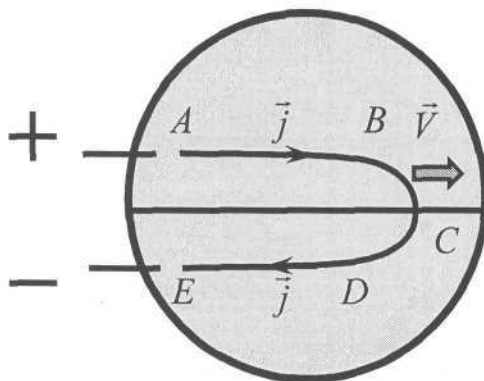


Рис. 3

Схема экспериментальной установки Ампера изображена на рис. 3. Она состоит из стеклянного сосуда, разделенного перегородкой. Обе камеры сосуда наполнены ртутью. В сосуд (на перегородку) помещается медный проводник $ABCDE$, имеющий подковообразную форму. Проводник покрыт изоляцией, только его обнаженные концы A и E имеют электрический контакт с ртутью. Проводник свободно плавает на поверхности ртути, причем его стороны AB и ED располагаются параллельно перегородке. Ртуть в каждой из камер соединяется с соответствующим полюсом источника тока. При этом наблюдается поступательное перемещение проводника вдоль перегородки, причем направление движения не зависит от направления тока в проводнике. Ампер делает вывод: «...что означает для каждой проволоки отталкивание между током, установившимся в ртути, и его продолжением в самой проволоке». То есть наблюдается взаимодействие участков, расположенных на одной линии.

Для описания взаимодействия токов, произвольным образом расположенных по отношению друг к другу, Ампер предложил формулу (закон Ампера) [1-3]:

$$d\vec{F}_{21} = \frac{\mu_0 \mu J_1 J_2}{4\pi} \left\{ \frac{3}{r_{21}^5} (d\vec{s}_1 \cdot \vec{r}_{21})(d\vec{s}_2 \cdot \vec{r}_{21}) - \frac{2}{r_{21}^3} (d\vec{s}_1 \cdot d\vec{s}_2) \right\} \vec{r}_{21}. \quad (3)$$

Из нее следует, что элементарные участки тока, расположенные взаимно перпендикулярно, вообще не должны взаимодействовать между собой. А при всех прочих положениях двух элементов магнитные силы лежат на одной линии действия (рис.4).

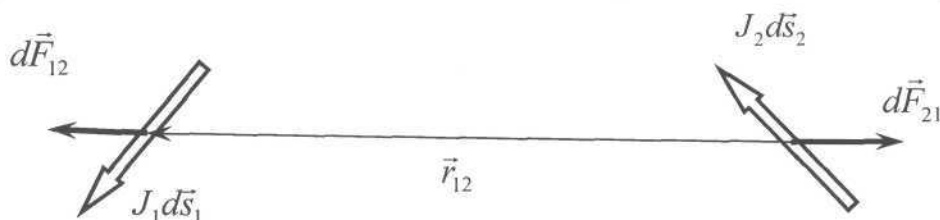


Рис.4

Оба вывода сомнительны. Первый, так как нет физических оснований считать, что при взаимно ортогональном расположении элементов тока обе силы равны нулю. Второй – предполагает потенциальность сил, что не характерно для электромагнитного взаимодействия. По этим причинам закон Ампера (3) в современной электродинамике не используется и упоминается лишь как исторический факт. Но с другой стороны, этот закон в отличие от формул (1) и (2) описывает взаимодействие токов, расположенных на одной линии. В общем случае он предполагает наличие двух составляющих магнитной силы: поперечной и продольной.

Таким образом, выясняется, что недостатками обладают как закон Ампера, так и современный подход, предусматривающий только наличие поперечной магнитной силы. Кстати, эту последнюю силу, которая определяется как векторное произведение плотности тока и магнитной индукции, принято называть силой Ампера, хотя она была введена только во второй половине XIX века взамен закона Ампера.

Как известно, Максвелл был приверженцем закона Ампера (3), признавая его в качестве основного [2]. Но, к сожалению, ему не удалось устранить недостатки, заключенные в нем, сохранив суть: возможность поперечного и продольного взаимодействия. В монографии Э. Уиттекера [3] прослеживается дальнейшая история развития представлений об электромагнитном взаимодействии. В частности имеется ссылка на точку зрения Хевисайда, высказанную в 1888 году: «Ученые, не менее авторитетные, чем великий Максвелл, утверждают, что закон силы между двумя элементами тока – основная формула электродинамики. Если бы это было так, разве мы не применяли бы его всегда? А применяем ли мы его вообще? Я уверен, что здесь какая-то ошибка. Я ничуть не хочу лишить Ампера чести называться отцом электродинамики; я всего лишь хочу передать звание основной другой формуле, выражающей механическую силу, которая действует на элемент проводника, несущего ток в любом магнитном поле – векторное произведение тока и магнитной индукции. В этой формуле есть нечто реальное; она не похожа на формулу силы между двумя незамкнутыми элементами; она фундаментальна; и, как всем известно, ее постоянно используют, прямо или косвенно (через электродвижущую силу), как теории, как и практики».

Таким образом, во второй половине XIX века возобладал подход, исключающий продольное электромагнитное взаимодействие. При этом отказались и от возможности рассматривать взаимодействие элементов тока, стали рассматривать только замкнутые электрические контуры или бесконечные токи. С анализа проблем, которые влечет за собой такой подход, мы и начали наше исследование.

При рассмотрении нестационарных электромагнитных процессов решение проблемы взаимодействия токов обычно видят в обобщенном законе сохранения полного (механического и электромагнитного) количества движения [4]. Однако детальный анализ показывает, что он не решает поставленную проблему. Как пишет Матвеев А.Н. [5], «невыполнимость третьего закона Ньютона в простейшей форме является следствием общих релятивистских свойств пространства и времени». С этим выводом нельзя не согласиться, поскольку все противоречия и парадоксы современной физики связаны с этими понятиями, точнее с нашими представлениями о них.

При рассмотрении парадокса взаимодействия непараллельных токов томский физик Николаев Г.В. выдвинул, на наш взгляд, весьма плодотворную идею [7-8]. Ее суть состоит в предположении о существовании еще одной составляющей электромагнитного взаимодействия, которая приводит к возникновению силы, действующей по направлению тока (сила Николаева). Путем введения такой силы решается парадокс взаимодействия непараллельных токов. По существу гипотеза Николаева Г.В. восходит к идее Ампера, которая отражена в законе (3). Гипотеза Николаева Г.В. помогает успешно решить проблему взаимодействия токов при любом их рас-

положении (рис. 5). Третий закон Ньютона при этом выполняется для полных магнитостатических сил \vec{F}^M , каждая из которых складывается из силы Ампера \vec{F}^A и силы Николаева \vec{F}^* :

$$d\vec{F}_{12}^M = d\vec{F}_{12}^A + d\vec{F}_{12}^*, \quad d\vec{F}_{21}^M = d\vec{F}_{21}^A + d\vec{F}_{21}^*,$$

$$d\vec{F}_{12}^M = d\vec{F}_{21}^M.$$

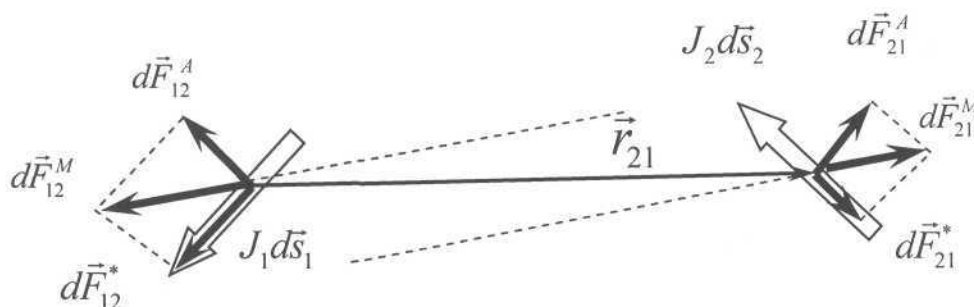


Рис. 5

Заметим, что полные магнитные силы расположены на параллельных линиях действия, что соответствует вихревому характеру электромагнитного взаимодействия.

Результат первого опыта Ампера (рис.2) легко объясняются наличием продольных магнитных сил, возникающих при взаимодействии токов, расположенных взаимно перпендикулярно. При симметричном расположении контуров (случай а), ток, текущий по дуге AA' , в одинаковой мере взаимодействует с перпендикулярными к нему отрезками MP и $M'P'$ а также с другой парой перпендикулярных отрезков RP и $R'P'$. В случае б) воздействие на дуговой ток со стороны токов MP и $M'P'$ по-прежнему остается скомпенсированным, а токи RP и $R'P'$ в силу асимметричного расположения контуров по разному воздействуют на подвижный проводник AA' , что и приводит к его движению.

Так как новая теория (будем называть ее обобщенной электродинамикой) исходит из предположения о существовании двух видов магнитной силы: поперечной (сила Ампера) и продольной (сила Николаева), то логично описывать магнитное поле двумя функциями: векторной - $\vec{H}(x', y', z', t)$, и скалярной - $H^*(x', y', z', t)$. Николаев Г.В. предлагает называть нововведенную составляющую **скалярным магнитным полем (СМП)** в отличие от обычного **векторного магнитного поля**. Функцию $H^*(x', y', z', t)$ можно называть **скалярным потенциалом магнитного поля**.

Заметим, что отождествление магнитного поля с картиной из железных опилок, возникшее на самой ранней стадии изучения магнетизма, ничем не обосновано. Возможно, ли описать электромагнитное взаимодействие во всех случаях, пользуясь только представлением о магнитных силовых линиях? Такой вопрос своевременно не был поставлен. Это и привело к ограниченности современной электродинамики.

Понятно, что гипотеза Николаева Г.В. требует всесторонней экспериментальной проверки и глубокого теоретического обоснования. Теоретические основы обобщенной электродинамики изложены в публикациях [9-13], где определены условия возникновения СМП, исследованы его различные конфигурации, установлено, что СМП характеризуется знаком. Показано, что на ток, текущий в положительном СМП, действует сила, направленная по току, а в отрицательном – против тока.

В публикациях Николаева Г.В. [7-8] описано несколько десятков экспериментов и устройств, в которых проявляется продольная магнитная сила. Приведем новые эксперименты, однозначно подтверждающие гипотезу о существовании продольного электромагнитного взаимодействия.

В первом эксперименте Томила А.К. и Асылканова Г.Е. [11] изучается движение прямолинейного проводника с током в поле магнита Николаева (МН). Магнит Николаева представляют собой цилиндрический магнит, распиленный по диаметру на две части, которые перевернуты относительно друг друга на 180 градусов.

Такая магнитостатическая система моделируется полукольцевыми и радиальными токами, то есть представляет собой сложную конфигурацию (рис. 6б). Теория разработанная в [9,10,13] позволяет изобразить на этом рисунке СМП с учетом знаков.

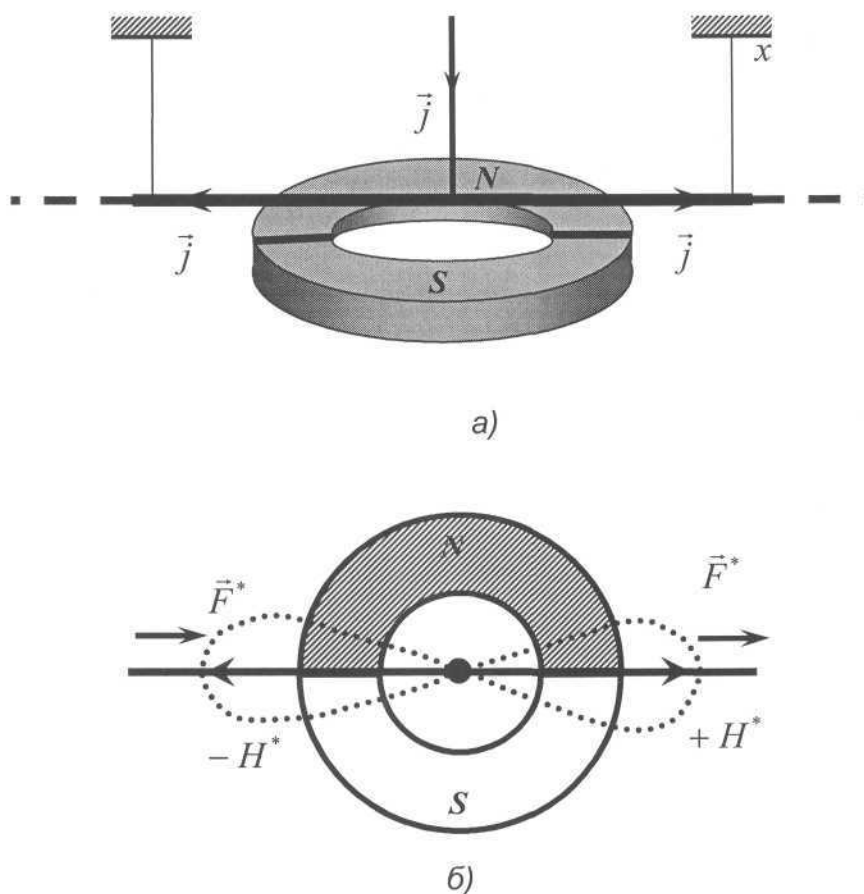


Рис.6

Над разрезом МН при помощи непроводящих нитей подвешивается прямолинейный немагнитный (медный) прямолинейный проводник (рис. 6а). К его середине, расположенной над центром магнита, подводится гибкий проводник, соединенный с одним из полюсов постоянного источника тока. Оба конца подвешенного проводника соединяются с другим полюсом источника тока. Гибкие провода, подведенные к концам медного проводника, располагаются по его продолжению. При этом горизонтальный линейный ток значительно длиннее диаметра МН. В левой и правой половинках подвешенного проводника текут взаимно противоположные токи. При замыкании цепи проводник движется вдоль разрезов магнита, т.е. вдоль токов, текущих в нем. Так как система в момент включения тока была симметричной, остается предположить, что на одной половине проводника возникает сила направленная по току, а на другой против тока. Этот результат совпадает с выводом, вытекающим из теоретических соображений [9,10,13], и подтверждает предположение о существовании

продольной магнитной силы. На рис. 6б показаны действующие на проводник продольные силы с учетом направления токов и знаков СМП, наблюдаемое в эксперименте движение проводника происходит именно в этом направлении.

Заметим, что в случае, изображенном на рис. 6, на вертикально расположенный проводник действует поперечная сила Ампера. Нетрудно определить, что она направлена противоположно силе \vec{F}^* , то есть она противодействует наблюдаемому движению проводника. Следовательно, поперечная сила, действующая на вертикальный проводник, не является причиной наблюдаемого движения. Кстати, эта поперечная сила довольно мала, так как обычное магнитное поле, создаваемое на оси МН его половинками, вблизи поверхности магнита практически компенсируется.

Второй эксперимент Томилина А.К. и Асылканова Г.Е. [11]. Над магнитом Николаева подвешивается тонкое кольцо из немагнитного металла (рис. 7а). Точки, расположенные на диаметре, перпендикулярном к линии разрезов, соединяются с противоположными полюсами источника тока.

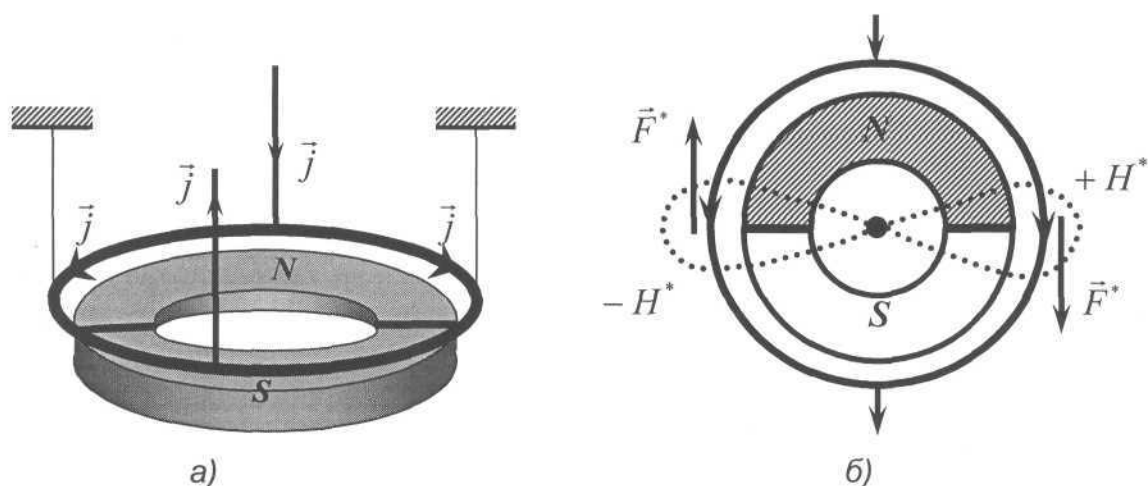


Рис. 7

При замыкании цепи по кольцу текут полукольцевые токи. При этом кольцо приходит во вращательное движение в своей плоскости. Если подводка тока осуществляется при помощи гибких проводников, закрепленных на кольце, то эффект можно наблюдать только при кратковременном замыкании цепи.

На рис. 7б видно, что за счет продольного электромагнитного взаимодействия создается пара сил, приводящая кольцо во вращение. Если обеспечить электрический контакт при помощи щеток, то кольцо вращается. В этом случае полностью исключается передача кольцу импульсов поперечных сил, действующих на подводящие проводники при любом их расположении. Эта идея используется нами для создания электродвигателя (генератора) нового типа с использованием продольного электромагнитного взаимодействия.

Принципиальная схема генератора (**эксперимент Томилина А.К. и Тупицына О.В.**) представлена на рис. 8. В качестве индукторов используются два МН. Магниты устанавливаются и закрепляются в коллинеарных плоскостях, линии распилов располагаются параллельно друг другу. Между магнитами коллинеарно их плоскостям располагается ротор, представляющий собой диск, изготовленный из диэлектрического материала с электропроводным немагнитным ободом. Обод контактирует со щетками, расположенными в диаметрально противоположных точках на линии, перпендикулярно скрещивающейся с линиями распилов МН. Щетки соединяются с прибором, регистрирующим электрический ток (микроамперметр, осциллограф).

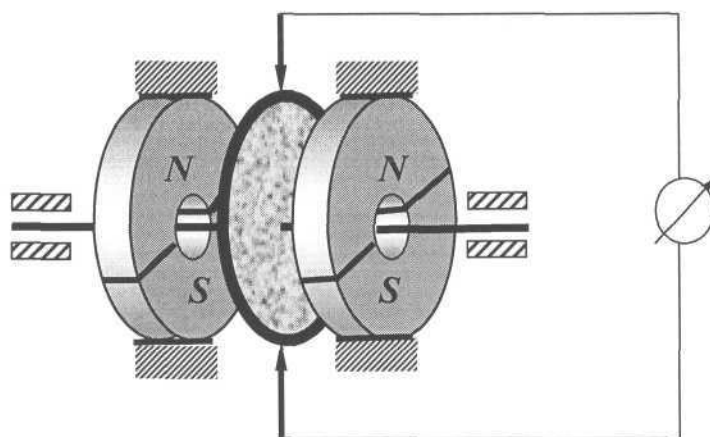


Рис. 8

При вращении ротора вокруг своей оси прибор регистрирует постоянный ток. В проведенном эксперименте медное кольцо вращалось со скоростью 2700 об/мин., при этом регистрировался ток в 10 мкА.

Принципиальное отличие этого генератора от существующих заключается в том, что здесь не применим обычный закон электромагнитной индукции, так как при вращении ротора вокруг оси, перпендикулярной его плоскости, поток магнитной индукции, пересекающий проводящий обод, не изменяется. Этот же принцип можно использовать для создания электродвигателя, работающего на основе продольного электромагнитного взаимодействия.

Эксперимент Томилина А.К. и Смагулова А.Е. [12]. В Ш-образную стеклянную трубку, заливается электропроводная жидкость – ртуть. Средний электрод соединяется с положительным полюсом источника постоянного тока, а крайние подводятся к отрицательному полюсу. Плоские прямоугольные магниты устанавливаются в горизонтальной плоскости симметрично относительно середины трубки (рис. 9а). При проведении эксперимента использовались постоянные магниты, изготовленные из сплава «Железо-Неодим-Бор», создающие довольно сильное магнитное поле.

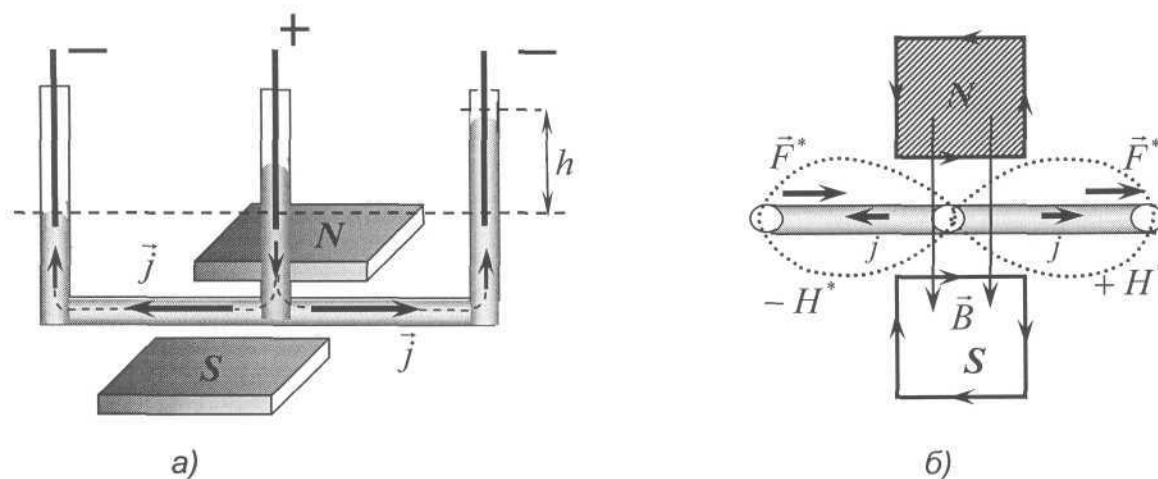


Рис. 9

До замыкания электрической цепи мениски ртути во всех вертикальных трубках находятся на одинаковом уровне. При замыкании цепи уровень ртути в вертикальных трубках сосуда изменяется. В случае расположения магнитов как показано

на рис. 9, в правой трубке мениск поднимается, а в левой – опускается. Если изменить полярность всех электродов на противоположную при том же расположении магнитов, наблюдается обратный эффект.

Попытаемся объяснить этот эффект действием обычной поперечной силы Ампера на ртуть в горизонтальной трубке. Действительно, такая сила возникает за счет взаимодействия вертикальной составляющей тока (она имеется в основании средней вертикальной трубки) с горизонтальной составляющей магнитной индукции. Горизонтальная составляющая вектора \vec{B} изображена на рис. 9б с учетом направления токов, моделирующих магниты. В таком случае сила Ампера направлена в левую сторону, что должно привести к поднятию ртути в левой трубке и опусканию – в правой. В эксперименте же при расположении магнитов как показано на рис. 9 наблюдается противоположный эффект. Следовательно, объяснить результат опыта, оперируя только обычной поперечной силой Ампера невозможно.

Этот эксперимент можно использовать для оценки величины индукции СМП B^* . Измерив разность высот ртути в крайних трубках (в нашем эксперименте $h = 0,01 \text{ м}$), не трудно определить объем $\tau_1 = Sh$ поднятого столба жидкости (S – площадь поперечного сечения трубки), а затем и силу тяжести $\rho g \tau_1$ ртути, находящейся в нем. Ее следует приравнять продольной магнитной силе, действующей на объем ртути в горизонтальной трубке τ_2 :

$$jB^* \tau_2 = \rho g \tau_1. \quad (4)$$

При этом $\tau_2 = Sl$, где l – длина горизонтальной трубки, на которой действует СМП. Поскольку действующее СМП неоднородно, это расстояние можно определить лишь оценочно. В проведенном эксперименте $l = 0,025 \text{ м}$, $S = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$. Из формулы (4) получим:

$$B^* = \frac{\rho g Sh}{Jl}, \quad (5)$$

где $J = jS$ – сила тока, пропускаемого в ртути ($J = 2 \text{ А}$). Оценочные расчеты привели к результату:

$$B^* = 1,35 \text{ Тл}.$$

В следующем **эксперименте Томилина А.К. и Смагулова А.Е.** легкий электропроводный немагнитный (медный) стержень длиной 2-3 см располагается вертикально на графитовой основе. Верхний конец стержня продет свободно в малую электропроводную петлю, размер которой немного превышает поперечный размер стержня. Петля и графитовая основа замыкаются цепью, содержащей источник постоянного тока и амперметр. При замыкании цепи создается постоянный ток, в нашем случае $J \approx 2 \text{ А}$. Если поднести к медному стержню систему двух плоских магнитов, сложенных как показано на рис. 10а, стержень совершает вертикальные вибрации. За счет прерывания электрического контакта ток в цепи заметно ослабевает. Если развернуть магниты (рис. 10б), вибраций стержня не происходит.

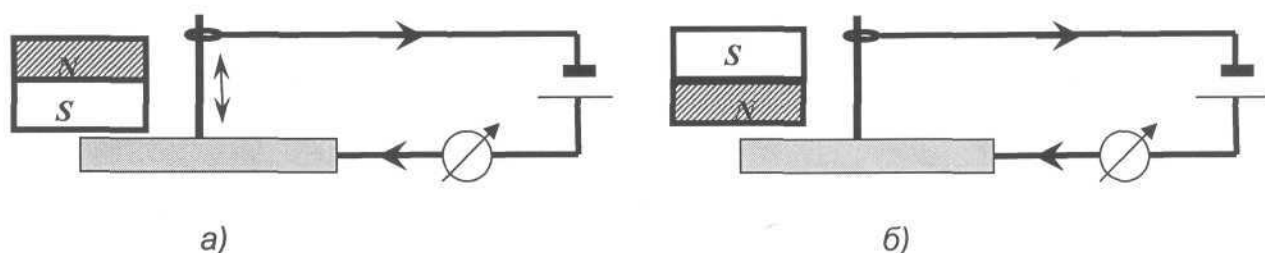


Рис. 10

Результат эксперимента объясняется возникновением продольной электромагнитной силы, действующей на подвижный проводник с током в СМП. В первом случае эта сила направлена вверх, и, очевидно, не меньше силы тяжести стержня, поэтому он совершает вертикальные вибрации. Во втором случае продольная сила направлена вниз, поэтому стержень не вибрирует.

Результатом всех приведенных экспериментов (исторических и современных) является вывод: электромагнитное взаимодействие в общем случае имеет поперечную и продольную компоненты. Следовательно, основной закон электромагнитного взаимодействия должен учитывать их обе и соответствовать вихревому характеру электромагнитной силы. В частности он должен описывать взаимодействие участков тока, расположенных взаимно перпендикулярно, а также расположенных на одной линии.

1. Ампер А.М. Электродинамика. - М.: АН СССР, 1954.
2. Максвелл Дж. Трактат об электричестве и магнетизме. В двух томах. - М.: Наука, 1989.
3. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. - Москва - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 512 с.
4. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М. «Наука», 1976.- 616 с.
5. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. - М. ВШ, 1976.- 416 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. Электродинамика. Краткий курс теоретической физики. Кн.1.- М.: Наука, 1969. - 271 с.
7. Николаев Г.В. Непротиворечивая электродинамика. Теории, эксперименты, парадоксы. - Томск, 1997. -144 с.
8. Николаев Г.В. Современная электродинамика и причины её парадоксальности. / Г.В. Николаев. - Томск: Твердыня, 2003.- 149 с.
9. Томилин А.К., Колесникова Т.Н. О проблеме магнитостатического взаимодействия// Региональный вестник Востока. Усть-Каменогорск, 2001.- № 3.С. 21-26.
10. Томилин А.К. Анализ проблем электродинамики и возможные пути их решения// Труды 7-ого Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. С-Петербург, 26-29 июня 2007 г. С. 214-217.
11. Томилин А.К., Асылканов Г.Е. Эксперименты по обнаружению продольной магнитной силы// Вестник ВКГТУ, Усть-Каменогорск, 2004.- № 2. С. 115-120.
12. Томилин А.К., Смагулов А.Е. Исследование эффекта продольного электромагнитного взаимодействия// Вестник ВКГТУ, Усть-Каменогорск, 2006. - № 2. - С. 144-147.
13. Томилин А.К. О свойствах векторного электродинамического потенциала. Источник: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8828.html>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

© *Томилин А.К.*

Контакт с автором: tomilin@ukg.kz

Приведены и проанализированы исторические эксперименты Ампера, доказывающие наличие составляющей электромагнитной силы, направленной по току или против него. Описаны и объяснены новые эксперименты, однозначно подтверждающие продольное электромагнитное взаимодействие.