

Д13-2002-261

В. А. Богач

**О ПОЛЯРНОСТИ ЭДС,
ИНДУЦИРУЕМОЙ ГЕОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ,
И О НЕОБХОДИМОСТИ УТОЧНЕНИЯ
ПРАВИЛА ДЖ. ФЛЕМИНГА**

Направлено в «American Journal of Physics»

Правило 3. В предметах нашего исследования надлежит отыскивать не то, что о них думают другие или что мы предполагаем о них сами, но то, что мы ясно и очевидно можем усмотреть или надёжно дедуцировать, ибо знание не может быть достигнуто иначе.

Рене Декарт. Правила для руководства ума

О полярности ЭДС, индуцируемой геомагнитным полем, и о необходимости уточнения правила Дж. Флеминга

Введение

Из большого числа геофизических явлений рассмотрим одно, по поводу которого в современной литературе встречаются противоположные точки зрения. В магнитном поле Земли с востока на запад перемещается с постоянной скоростью вертикальный проводник (например, радиоантенна движущегося автомобиля). Требуется определить направление и величину возникающей в проводнике постоянной электродвижущей силы (ЭДС). На первый взгляд задача проста. Для её решения необходимо знать величину и направление вектора силовых линий геомагнитного поля в данной местности, а также вектора скорости движения автомобиля и на основании этих данных определить ЭДС в соответствии с правилом правой руки, сформулированным Дж. Флемингом. В книге Эйхенвальда [1, стр. 274] на эту задачу даётся следующий ответ: "Земное поле направлено с юга на север; при движении проводника с востока на запад индуцируется электродвижущая сила сверху вниз. Следовательно, в рассматриваемом случае верхний конец проводника будет иметь более высокий потенциал, чем нижний конец". А в книге Калашникова [2, стр. 215] при рассмотрении такой же задачи написано следующее: "Магнитное поле Земли направлено с юга на север. Поэтому мы находим (например, по правилу правой руки), что ЭДС направлена сверху вниз. Это значит, что нижний конец провода будет иметь более высокий потенциал (зарядится положительно), а верхний – более низкий (зарядится отрицательно)". Аналогичный подход к явлениям индукции в геомагнитном поле изложен в [19] Д.Ориром. Этот

автор, рассматривая полёт самолёта на север, пишет, что геомагнитное поле индуцирует между концами крыльев ЭДС, направленную с запада на восток, и при этом на концах крыльев заряды располагаются так: на восточном – положительные, на западном – отрицательные.

Таким образом, первые два автора вначале утверждают, что ЭДС будет направлена сверху вниз. В соответствии с теорией электромагнетизма ЭДС всегда должна быть направлена от точки с более высоким потенциалом, которая соответствует положительному заряду, к точке с более низким потенциалом, которая соответствует отрицательному заряду. Заметим при этом, что наша планета окружена адекватным отрицательному заряду поверхности (т.е. также направленным сверху вниз) электрическим полем, о котором авторы вообще не упоминают.

Однако затем Калашников в приведенной цитате после первых двух предложений пишет на первый взгляд прямо противоположное, а именно что отрицательный заряд будет вверху, а положительный – внизу, что соответствует направлению ЭДС снизу вверх. Возможно, он при этом исходит из того, что именно такое распределение зарядов наблюдается при исследовании электрического поля Земли. Аналогичное противоречие содержится и в решении Орира. Как ни странно, но эти столь противоположные выводы действительно можно получить, применяя правило Флеминга для правой руки.

О геомагнитном поле

Чтобы разобраться в этой парадоксальной ситуации и определить правильный ответ, необходимо: во-первых, знать правильное направление силовых линий земного магнитного поля и, во-вторых, правильно применить законы электромагнетизма. В теории электромагнетизма общепринято исходить из того, что силовые линии магнитного поля выходят из северного и входят в южный полюс магнита. Поэтому первым делом надо было уточнить, какой именно истинный физический магнитный полюс находится в северном полушарии. Однако оказалось, что в настоящее время в самых авторитетных школьных и вузовских учебниках по физике, научной литературе и даже энциклопедиях излагаются на первый

взгляд противоречивые сведения о том, какие именно магнитные полюсы расположены в северном и южном полушариях Земли. Это побудило автора изучить имеющуюся литературу, проанализировать современное состояние вопроса и экспериментально заново исследовать обоснованность общепризнанного расположения магнитных полюсов Земли.

О том, что в северном полушарии находится южный магнитный полюс Земли, написано в некоторых иностранных и всех российских учебниках, Большой советской энциклопедии [3], а также в ряде других книг [1, стр. 197; 2, стр. 215; 4-6; 7, стр. 144; 8, стр. 118]. В тех случаях если это утверждение в некоторых изданиях иллюстрируется изображением направления силовых линий магнитного поля, то показано, что в этот полюс силовые линии входят.

Совершенно противоположное, а именно что в северном полушарии находится северный магнитный полюс Земли, сообщается в других книгах [9-11,15], в том числе также в Большой советской энциклопедии [9]. Однако вполне возможно, что иногда и в этом случае фактически имеется в виду южный физический магнитный полюс, так как, например, в [11] на сопровождающих текст рисунках силовые линии магнитного поля показаны входящими в полюс. Что же касается противоположных названий, то их можно объяснить существованием традиции называть магнитные полюса Земли в соответствии с названием полушария, в котором полюс находится. Именно так поступают, например, в астрономии и метеорологии и даже, что уж совсем удивительно, в геофизике [15].

При этом ни в том, ни в другом случае не приводится никакого физического обоснования для излагаемой трактовки, что создаёт у читателя превратное представление о малой значимости этого вопроса и допустимости произвольного именования полюсов. Например, в фундаментальной геофизической энциклопедии Б.М.Яновского "Земной магнетизм" сообщается, что "ближайший к северному географическому полюсу называется северным магнитным полюсом, а ближайший к южному – южным магнитным полюсом" [15]. К тому же в этой книге, а также во многих физических словарях и учебниках только сообщается о существ-

вовании у Земли магнитных полюсов, в которых магнитная стрелка устанавливается вертикально, а вопрос об их полярности и, следовательно, о направлении силовых линий магнитного поля Земли вообще не затрагивается.

Земля представляет собой сложнейшую систему геофизических магнитных и электрических полей, в которой параметры всех компонентов должны строго соответствовать определениям, общепринятым в теории электромагнитного поля. Только в этом случае физическая теория поля может адекватно описывать наблюдаемые физические явления. И, как известно, физическая теория поля имеет детально разработанный математический аппарат. В свою очередь, теория электромагнетизма является одной из краеугольных опор современного естествознания и техники, и в частности геомагнетизма. Несомненно, что произвольное наименование полюсов недопустимо, так как неправильное представление об их местоположении делает невозможным понимание геофизических явлений, чрезвычайно важных для всех обитателей Земли.

О правиле Флеминга

Теория поля базируется на представлении, что северный магнитный полюс и положительный электрический заряд являются соответственно источниками магнитного и электрического полей, а южный магнитный полюс и отрицательный заряд – стоками. В дальнейшем изложении во избежание разночтений отвечающие этому критерию магнитные полюсы будут именоваться истинными физическими. Кроме того, в теории электромагнетизма условились считать электрическим током движение положительных зарядов от положительного полюса источника тока к отрицательному. Соответственно, потенциал положительного полюса необходимо считать высоким, а отрицательного полюса – низким.

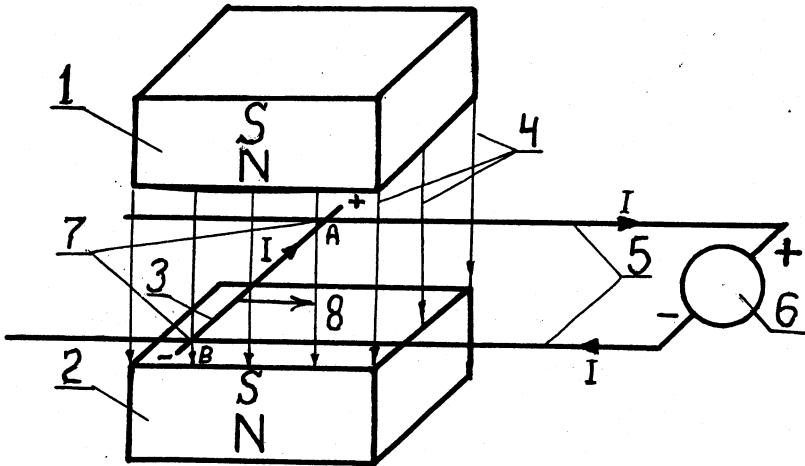
Исходя из этого Дж. Флемингом был установлен фундаментальнейший закон физики – правило правой руки, которое однозначно связывает направление электрического тока и полярность напряжения, индуцируемых при пересечении проводником силовых линий магнитного поля, выходящих из северного полюса, с направлением его перемещения. Этот закон лежит в основе практической элект-

тротехники. Все широко используемые человечеством электродвигатели и генераторы свидетельствуют о правильности этого закона. Правилу правой руки в теории поля соответствует формальный математический аппарат – правовинтовое векторное произведение вектора индукции магнитного поля на вектор скорости проводника, с помощью которого вычисляется искомый вектор электрического поля.

Существование на нашей планете собственного магнитного поля, имеющего два полюса, было установлено в 1600 г. В. Гильбертом. До этого считалось, что стрелка компаса притягивается звёздами. И в настоящее время в области земного магнетизма компас является важнейшим инструментом. Именно на основании его показаний сложились современные представления о местоположении полюсов Земли. Поэтому очевидно, что для проверки правильности укоренившихся представлений, вероятно, появившихся в результате работ Ампера, необходимо и достаточно выяснить, каким именно – северным или южным – истинным физическим магнитным полюсом является конец магнитной стрелки компаса, указывающий на северное полушарие нашей планеты. Совершенно ясно, что если он окажется северным, то в точке его притяжения находится южный истинный физический магнитный полюс. Для этого необходимо откалибровать магнитную стрелку компаса. Это можно осуществить, имея эталонные физические полюсы, которые легко получить путём простейшего эксперимента, проведенного на основании общепринятых законов теории электромагнетизма.

Схема эксперимента по нахождению эталонных истинных физических магнитных полюсов показана на рисунке. Между полюсами 1 и 2 постоянного магнита перемещается по направлению стрелки 8 проводник 3, пересекая магнитные силовые линии 4. Его концы, посредством скользящих контактов 7, в точках А и В соединены с неподвижными электропроводящими направляющими 5, к концам которых подключены положительный и отрицательный выводы вольтметра 6. Мысленно поместим между полюсами развёрнутую ладонь правой руки таким образом, чтобы выходящие из северного полюса силовые магнитные линии входили в ладонь, а отставленный большой палец был направлен по направлению

в ладонь, а отставленный большой палец был направлен по направлению движения проводника. Тогда, в соответствии с наиболее широко применяющейся формулировкой правила правой руки [8, стр. 148], направление вытянутых четырёх пальцев ладони укажет **направление электродвижущей силы (?) и электрического тока**, индуцируемых при движении проводника. В точном соответствии с законом электромагнитной индукции Фарадея в перемещающемся проводнике 3 возникает ЭДС и проводник становится источником тока I , направление которого для данного случая показано стрелками на рисунке.



Однако при этом появляются вопросы, связанные с применением закона.

Как известно, используются два варианта расположения пальцев правой руки.

1. Вышеизложенный, широко применяющийся в литературе по физике и электротехнике, при котором ладонь развёрнута и выпрямлена, а большой палец отогнут полностью.

2. Иногда авторы предпочитают следующую трактовку: "Если большой, указательный и средний пальцы правой руки расположить под прямыми углами друг к другу и если указательный палец имеет направление магнитного поля, а большой палец – направление движения, то средний палец покажет направление электродвижущей силы" [18].

Дальнейшее рассмотрение в одинаковой мере справедливо для обоих вариантов, несмотря на указанные различия.

Кроме того, в учебной и научной литературе встречаются три разновидности формулировок правила правой руки. Одни авторы сообщают, что правило Флеминга указывает **направление тока** [7, стр. 154]. Другие пишут, что правило указывает направление **электродвижущей силы** [14, 18]. Третьи, и таких большинство, считают, что правило одновременно указывает **направление тока и электродвижущей силы** [2, стр. 214; 8, стр. 148].

Что касается электрического тока, то нет никаких сомнений в адекватности физической реальности относящейся к нему первой части формулировки закона. Она полностью соответствует другим основным законам электромагнетизма – правилу буравчика и правилу левой руки.

Напомним, что в замкнутой электрической цепи ток I в источнике (т.е. в данном случае – в проводнике 3) течёт по кругу в одном направлении от минуса к плюсу, а во внешней цепи (т.е. в неподвижных проводниках 5 и вольтметре) от плюса к минусу. Вольтметр покажет значение разности потенциалов (напряжения) между полюсами и их полярность. Зная полярность показаний вольтметра, определяем направление тока в электрической цепи. В данном случае ток по проводнику 3 течёт от ближнего конца (точка В) к дальнему концу (точка А). Зная направление тока и направление движения проводника, можно в соответствии с правилом правой руки, то есть векторным произведением, найти положения эталонных северного и южного истинных физических магнитных полюсов и соответственно промаркировать их. Для показанного на рисунке направления перемещения по стрелке 8 и положительной полярности показаний вольтметра эталонный истинный физический северный магнитный полюс должен быть над проводником, а эталонный физический южный магнитный полюс – под проводником.

Теперь, поднося к северному эталонному полюсу компас и зная, что повернувшийся к нему конец магнитной стрелки компаса должен иметь противоположную полярность, можно однозначно решить вопрос о том, каков истинный физический

полос конца магнитной стрелки компаса, указывающего на эталонный физический северный полюс магнита. Описанный эксперимент показал, что он является южным. Следовательно, необходимо считать, что в северном полушарии, к которому поворачивается северный конец магнитной стрелки компаса, находится истинный физический южный магнитный полюс.

Решая вышеуказанную задачу и применяя правило правой руки, оба автора – и Эйхенвальд, и Калашников – исходили из того, что магнитное поле направлено с юга на север, что соответствует местонахождению в северном полушарии южного истинного физического магнитного полюса. Значит, в этом вопросе всё сделано ими правильно и причину противоречивых результатов следует искать в формулировке правила Флеминга.

Для рассматриваемой задачи необходимо определить направление не тока, а электродвижущей силы, т.е. разность потенциалов. И вот тут неожиданно выяснилось, что утверждение об определении направления ЭДС указанным методом неоднозначно и потому допускает в данной проблеме прямо противоположные толкования, естественно, приводящие к противоположным результатам, и к тому же в конечном счете противоречит двум другим законам электромагнетизма – правилам буравчика и левой руки. Очевидно, что именно этим можно объяснить противоречивые результаты вышеупомянутых авторов.

Об электромагнитной индукции

Чтобы устранить противоречие, необходимо детально рассмотреть физическую сущность процесса электромагнитной индукции. Закон Флеминга сформулирован для замкнутой электрической цепи постоянного тока. Поэтому целесообразно обратиться к излагаемой в ряде учебников [16, 17, 20, 21] общепринятой теории физических процессов, происходящих в такой электрической цепи. Постоянный электрический ток (ток проводимости) представляет собой упорядоченное движение свободных электрических зарядов в проводнике. Для этого внутри проводника должно существовать первичное электрическое поле (т.е. первичная ЭДС). Под воздействием этого поля положительные заряды будут перемещаться из областей

поля с большим (положительным) потенциалом в области с меньшим потенциалом, а отрицательные – в обратную сторону. Как известно, в металлах перемещаются только электроны. При этом заряды будут стремиться к такому расположению, при котором создаваемое ими вторичное электрическое поле полностью компенсировало бы распределение первичного электрического поля внутри проводника. В результате произойдёт равновесное статическое выравнивание потенциалов во всём объеме проводника. Если концы проводника не подключены к внешней нагрузке, то индуцированные вторичные заряды сосредоточатся на концах проводника, создавая вторичную ЭДС, и электрический ток прекратится. Если же к проводнику подключена внешняя электрическая цепь с нагрузкой, то индуцированные на концах заряды будут перемещаться от одного полюса к другому, создавая электрический ток. Для поддержания непрерывного упорядоченного движения свободных зарядов нельзя допускать установления электростатического равновесия. Для этого совершенно необходимо наличие в проводнике постоянно действующего первичного электрического поля, совершающего работу против сил вторичного электростатического поля, стремящегося уравнивать потенциалы всех точек проводника. Однако эта работа принципиально не может совершаться за счёт энергии электростатического поля каких-либо зарядов, так как в таком поле неизбежно устанавливается равновесие. Эта работа должна совершаться за счёт затраты других видов энергии неэлектростатического происхождения – механической, химической, тепловой и т. д. Таким образом, чтобы упорядоченное движение свободных зарядов (электрический ток) не прекращалось, в проводнике необходимо обеспечить непрерывное действие первичной ЭДС, которую принято называть сторонней, за счёт превращения иного вида энергии в энергию первичного стороннего электрического поля. В рассматриваемом случае первичная ЭДС возбуждается в проводнике 3 за счёт механической энергии, затрачиваемой на его перемещение.

Перейдём теперь к рассмотрению принципиальной физической природы стороннего электрического поля. При этом необходимо исходить непосредственно из

экспериментально открытого М. Фарадеем закона электромагнитной индукции. Как известно, он впервые установил, что индуцирование магнитным полем электрического тока в проводнике происходит вследствие их относительного перемещения. При этом индуцированный ток как бы инвариантен, т.е. совершенно безразлично, что именно перемещается – проводник или магнитное поле. Он будет одним и тем же как в случае, когда проводник движется, пересекая силовые линии, в неподвижном магнитном поле, так и в случае, когда проводник неподвижен, а его пересекают силовые линии движущегося магнитного поля. А вот принятые в теории электромагнетизма законы, например правила правой и левой руки, или сила Лоренца неинвариантны. Они дают правильные результаты только для случая, когда магнитное поле неподвижно, а движется проводник. И это необходимо иметь в виду.

Обычно в учебной и научной литературе утверждается, что при пересечении проводником магнитного поля находящиеся в нём свободные заряды под воздействием силы Лоренца смещаются к концам проводника, создавая в нём электрическое поле. Вследствие этого процесс индукции приходится описывать, используя весьма разнородные понятия – сила и поле. В связи с этим Р. Фейнман писал: "Мы не знаем в физике ни одного другого такого примера, когда бы простой и точный общий закон требовал для своего настоящего понимания анализа в терминах двух разных явлений. Обычно столь красивое обобщение оказывается исходящим из единого глубокого основополагающего принципа. Но в этом случае какого-либо особо глубокого принципа не видно. Мы должны воспринимать "правило" как совместный эффект двух совершенно различных явлений" [21]. Однако введённое Фарадеем понятие электромагнитного поля является достаточно глубоким и всеобъемлющим принципом. В то же время понятие силы Лоренца по определению применимо только к зарядам, движущимся в магнитном поле. Если заряды отсутствуют, то и силы нет. Случайное наличие или отсутствие в пространстве зарядов или содержащего их вещества не является существенным обстоятельством. Оно в принципе не может влиять на физический процесс возникновения в про-

пространстве электрического поля при относительном перемещении магнитного поля. Процессы возникновения и преобразования электромагнитных полей, несомненно, определяются недостаточно пока что изученными свойствами пространства–времени. Поэтому необходимо решительно отдать предпочтение фарадеевской концепции поля. Тем более что, как известно, следуя ей, Максвелл в своё время ввёл в теорию понятие тока смещения. Это в дальнейшем обеспечило существенное развитие теории электромагнетизма. Исследование процесса униполярной индукции и экспериментальное обнаружение возникновения электрического поля при вращении намагниченного ротора [12, 13] позволило выдвинуть гипотезу о возникновении в пространстве при относительном перемещении магнитного поля особого вида электрического поля [13]. Поэтому дальнейшее рассмотрение проводится на основе упомянутой гипотезы. Свойства этого нового вида электромагнитного поля весьма специфичны и были впервые детально изложены в [13]. Не исключено, что в будущем этот новый подход позволит по-новому рассмотреть также и процесс индукции в меняющемся во времени магнитном поле.

При таком подходе процесс индуцирования ЭДС описывается нижеследующим образом. Электрическое поле, возникающее в пространстве, занятом проводником 3, при движении относительно магнитного поля, представляет собой стороннюю первичную электроразделяющую силу, которая заставляет свободные электрические заряды перемещаться к концам проводника. Она направлена от конца В (более высокий потенциал) к концу А (более низкий потенциал). Образовавшиеся на концах проводника заряды создают внутри его вторичное электрическое поле противоположного направления, полностью компенсирующее первичное электрическое поле. При этом конец А получит более высокий потенциал (зарядится положительно), а конец В – более низкий (зарядится отрицательно). Подключив к концам проводника вольтметр, можно непосредственно измерить эту вторичную ЭДС. Именно она необходима электротехникам для разработки различных устройств. Поэтому пользователи, применяя правило Флеминга, обычно имеют в виду именно её. Однако из вышеописанного эксперимента совершенно очевидно,

что кончики вытянутых пальцев правой руки указывают на имеющий высокий потенциал (заряженный положительно) конец проводника 3 (точка А), как это и показано на рисунке. Значит, основаниям пальцев соответствует имеющий наименьший потенциал (заряженный отрицательно) конец проводника 3 (точка В). Так как в теории электромагнетизма принято определять направление ЭДС по направлению движения пробного положительного заряда, которое и принято за направление тока в электрической цепи, то совершенно ясно, что в данном случае пробный заряд внутри проводника 3 под воздействием вторичной ЭДС должен был бы двигаться в направлении, противоположном вытянутым пальцам (от их кончиков, т.е. от положительного полюса, к основаниям, т.е. к отрицательному полюсу), что не соответствует действительности. Таким образом, вторичная ЭДС в проводнике на самом деле направлена встречно пальцам и противоположна протекающему по направлению пальцев электрическому току. В то же время в неподвижной внешней части электрической цепи, которая только и представляет практический интерес для электротехники, от точки А, имеющей более высокий потенциал (заряженной положительно), до точки В, имеющей более низкий потенциал (заряженной отрицательно), направления электрического тока и ЭДС совпадают, в полном соответствии с общепринятыми определениями. Видимо, именно в этом причина укоренившейся путаницы в формулировке правила Флеминга. В действительности же в проводнике 3 с направлением пальцев правой руки совпадает направленное от В к А первичное стороннее электрическое поле, как раз и обеспечивающее протекание тока I (указанного стрелками на рисунке направления).

О необходимости уточнения правила Флеминга

Таким образом, очевидно, что необходимо чётко определить в правиле Флеминга, какая именно ЭДС – первичная или вторичная – имеется в виду. Без этого часть вышеприведённой формулировки правила Флеминга, в которой говорится о том, что ЭДС направлена вдоль направления пальцев, совершенно ошибочна, так как у пользователя нет сомнений, что имеется в виду вторичная ЭДС, которая и

интересует электротехников. При этом она противоречит также остальным двум основным законам электромагнетизма – правилу буравчика и правилу левой руки. Кстати, отметим, что из теории электрических цепей давно известно о том, что в источнике тока направления тока и напряжения всегда противоположны и совпадают по направлению только во внешней электрической цепи. Это положение полностью справедливо по отношению к движущемуся проводнику, который в рассматриваемом случае является источником тока.

Теперь можно вернуться к изложенной во введении задаче и разобраться в отмеченном противоречии. Несомненно, что когда первые два автора пишут о том, что "электродвижущая сила в проводнике направлена сверху вниз", то это означает, что вверху положительный полюс, а внизу отрицательный. Это совершенно правильно для первичного электрического поля и вполне согласуется с общепринятым представлением об отрицательном заряде Земли. А вот когда Калашников одновременно указывает, что "нижний конец провода будет иметь более высокий потенциал (зарядится положительно), а верхний – более низкий (зарядится отрицательно)", то это справедливо только по отношению к индуцированным вторичным электрическим зарядам, компенсирующим внутри проводника первичное поле. Несомненно, что подобное смешение понятий, да ещё при этом безо всяких пояснений, неуместно в учебниках.

Чтобы устранить вышеуказанную давнюю путаницу в научной и учебной литературе, приводящую к ошибочным результатам при исследовании геофизических явлений, совершенно необходимо строго различать первичную ЭДС, порождаемую сторонними силами (т.е. нового вида стороннее электрическое поле, которое доселе трактовалось как область действия сил Лоренца), и вторичную ЭДС кулоновского поля, создаваемого индуцированными электрическими зарядами.

Для этого необходимо изменить формулировку правила Флеминга для правой руки. Например, можно было бы написать в тексте правила, что **вытянутые пальцы ладони правой руки (либо её средний палец), во-первых, указывают направление электрического тока и, во-вторых, указывают на положитель-**

ный полюс генерируемой вторичной ЭДС. Это вполне удовлетворило бы практическую электротехнику, однако совершенно недостаточно для других специалистов, например геофизиков. Кроме того, как очевидно из изложенного, именно первичное электрическое поле, образующее стороннюю электроразделяющую силу, направлено вдоль вытянутых пальцев правой руки (или среднего пальца). Поэтому в ныне применяемых формулировках можно было бы вполне обоснованно заменить термин "ЭДС" на термин "сторонняя ЭДС". Однако при этом необходимо непременно разъяснить, что именно имеется в виду.

На мой взгляд, исходя из вышеизложенного, целесообразно применять в любом общем случае следующие достаточно строгие варианты формулировки правила правой руки для каждой из вышеупомянутых конфигураций пальцев:

1. Для определения направления индуцированных тока и электродвижущей силы в проводнике, движущемся в магнитном поле, необходимо расположить ладонь правой руки так, чтобы отставленный большой палец совпадал с направлением движения проводника, а силовые линии магнитного поля входили в ладонь. Тогда направление четырёх вытянутых пальцев ладони совпадёт с направлением индуцированного тока и сторонней электродвижущей силы (стороннего электрического поля) в движущемся проводнике, а также укажет на положительный полюс генерируемой вторичной электродвижущей силы, являющейся источником тока во внешней неподвижной электрической цепи.
2. Если большой, указательный и средний пальцы правой руки расположить под прямыми углами друг к другу и направить указательный палец по направлению магнитного поля, а большой палец – по направлению движения проводника, то средний палец покажет направление индуцированного электрического тока и сторонней электродвижущей силы (стороннего электрического поля) в движущемся проводнике, а также укажет на положительный полюс генерируемой вторичной электродвижущей силы, являющейся

вторичной электродвижущей силы, являющейся источником тока во внешней неподвижной электрической цепи.

Заключение

Вышеизложенное в настоящее время актуально в первую очередь для понимания геофизических явлений. Однако история науки свидетельствует, что уточнение фундаментальных законов и понятий в основах любой науки рано или поздно непременно открывает новые возможности для её развития. Поэтому автор считает своим долгом сообщить о вышеизложенных соображениях, чтобы привлечь к ним внимание научной общественности. Несомненно, научная общественность должна принять участие в разрешении застарелой путаницы в учебной и научной литературе.

Автор благодарит сотрудников научно-технической библиотеки ОИЯИ за большую помощь в подборе научной литературы, а также выражает свою признательность профессору, доктору физико-математических наук, заслуженному деятелю науки РФ А.А.Тяпкину, докторам физико-математических наук И.А.Шелаеву, Ф.А.Гарееву, Г.Н.Афанасьеву и кандидату физико-математических наук В.К.Игнатовичу за поддержку и критические замечания и особенно кандидату физико-математических наук Э.Г. Бубелеву за дружеское стимулирование и поддержку при обсуждении работы.

Литература

1. А. Эйхенвальд. Электричество. М., 1933.
2. С. Калашников. Электричество. М., 1970.
3. Большая советская энциклопедия. М., 1975, т. 20, стр. 324.
4. А. Хендель. Основные законы физики. М., 1959, стр. 197.
5. О. Jefimenko. Electricity and magnetism. 2 ed., Star City. 1989, p. 395.
6. Элементарный учебник физики. Под ред. Г.С. Ландсберга, М., 2001, изд. 12, т. 2, стр. 295.
7. А. Перьшкин. Курс физики. М., 1966, ч. 3.
8. Н. Бытько. Физика. М., 1963.

9. Большая советская энциклопедия. М., 1972, т. 9, стр. 502.
10. Encyclopeda Britannica. 1957, v. 7, p. 840.
11. Ч. Эллиот и У. Уилкоккс. Физика. М., 1975, стр. 245.
12. Н.Е. Заев и В.И. Докучаев. О поведении линий поля вращающегося магнита. "Электротехника", №11, М., 1964, стр. 64.
13. В.А. Богач. Гипотеза о существовании статического электромагнитного поля и его свойствах. ОИЯИ, Р13-96-463. Дубна, 1996. Рассмотрен парадокс Фарадея об униполярной индукции применительно к проблемам электротехники и физики. Показано, что для его разрешения необходимо ввести понятие о неизвестном ранее виде электромагнитного поля. Описаны его свойства. Отмечается, что при этом исчезают принципиально неустранимые в современной теории электромагнетизма противоречия.
14. С. Фриш и А. Тиморева. Курс общей физики. М., 1962, т. 2, стр. 407.
15. Б.М. Яновский. Земной магнетизм. Изд. Ленингр. унив., 1978, стр. 65.
16. Б.М. Яворский, А.А. Пинский. Основы физики. М. 1972, т. 2, стр. 98.
17. Курс физики. Под ред. Н. Папалекси. М.-Л., 1948, т. 2, стр. 75.
18. О.Д. Хвольсон. Курс физики. Берлин, 1923, т. 5, стр. 197.
19. Д. Орир. Физика. М., 1981, стр. 283.
20. Р.Фейнман и др. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 6, Электродинамика. М., 1977, стр. 53.
21. Э. Парселл. Электричество и магнетизм. М., 1971, стр. 231.

Получено 15 ноября 2002 г.

Богач В. А.

Д13-2002-261

О полярности ЭДС, индуцируемой геомагнитным полем,
и о необходимости уточнения правила Дж. Флеминга

Отмечается противоречивость полученных разными авторами результатов при рассмотрении процесса индуцирования ЭДС в движущемся вертикальном проводе. Анализируются факторы, влияющие на результат. Проведен обзор опубликованных данных о полярности геомагнитных полюсов, и описан простой эксперимент, позволяющий на основе общепринятых положений теории электромагнетизма проверить их достоверность. Детально рассмотрен процесс электромагнитной индукции, и выявлено противоречие в формулировке одного из основных законов электромагнетизма — правила правой руки, приводящее к ошибкам при рассмотрении геофизических явлений. Предлагаются варианты формулировки этого закона, полностью адекватные физической реальности.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзепелова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2002

Перевод М. И. Потапова

Bogach V. A.

D13-2002-261

On Polarity of the Electromotive Force Induced
by the Geomagnetic Field and on Necessity
to Revise J. Fleming's Rule

Inferences drawn by various authors from consideration of EMF induction in a moving vertical conductor are shown to be contradictory. Factors affecting the inference are analyzed. Published data on polarity of geomagnetic poles is reviewed and a simple experiment allowing their verification on the basis of universally accepted concepts of the electromagnetic theory is described. The process of electromagnetic induction is considered in detail and contradiction is revealed in the formulation of one of the basic electromagnetic laws, the right-hand rule, which leads to mistakes in treatment of geophysical phenomena. Alternative formulations of this law fully adequate to physical reality are proposed.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2002

Редактор *А. Н. Шабашова*
Макет *Е. В. Сабаевой*

Подписано в печать 02.12.2002.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,13. Уч.-изд. л. 0,99. Тираж 255 экз. Заказ № 53641.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/