

# Применение инструментов ТРИЗ при анализе физических законов и понятий

И. Мисюченко

М. С. Рубин

СПб. 2015 г.

## Аннотация

*В настоящей работе рассмотрена методика применения некоторых инструментов ТРИЗ при анализе полноты и степени фундаментальности физических понятий и законов на примере понятия «магнитное поле». Обнаружены противоречия классических представлений о магнитном поле не только с выводами аналитических инструментов ТРИЗ, но и с экспериментом, синтезированным на основе элепольных моделей. Показано, что классическое представление о магнитном поле не является ни полным, ни фундаментальным и требует либо замены на более полные и более фундаментальные понятия (например, на поле векторного потенциала), либо существенного развития и дополнения (например, введение понятия механического движения поля).*

## Введение

В рамках классической электродинамики магнитное поле вводится как самостоятельная материальная среда, связанная исключительно с токами (всех известных видов) и ответственная за так называемые магнитные взаимодействия [1]. Простейшими примерами магнитного взаимодействия являются взаимодействие двух параллельных проводников с током, взаимодействие постоянных магнитов, взаимодействие заряженных частиц с источником магнитного поля и т.д. Т.е. полагается, что любые токи (проводимости, смещения, конвекционные, молекулярные, атомарные и т.п.) окружены некоей материальной средой, именуемой «магнитным полем» и эта среда является переносчиком магнитных взаимодействий. В качестве основной характеристики магнитного поля вводится силовая характеристика «индукция магнитного поля»  $\vec{B}$ . Это векторная величина, численно равная силе  $F$ , действующей со стороны магнитного поля на отрезок тока  $I$  длиной  $dl$ , отнесенной к элементу тока  $I dl$  (из закона Ампера [1], ф.ла 111.1):

$$(1) B = \frac{F}{I dl}$$

Направление же этой величины часто определяется различными правилами, например, для тока «правилом буравчика» [2]. Ещё более ярко силовой характер магнитного поля проявляется на микроуровне в виде так называемой «магнитной силы Лоренца»  $\vec{F}_L$  [1, §114], действующей на заряженную частицу с зарядом  $q$ ,двигающуюся относительно магнитного поля  $\vec{B}$ :

$$(2) \vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

В данном случае движущийся со скоростью  $\vec{v}$  заряд  $q$ , фигурирующий в законе (2), эквивалентен элементу с током  $I dl$ , фигурирующему в определении (1). Принято считать, что магнитное поле, как и всякое силовое поле, подчиняется *принципу суперпозиции* [3] (справедливому в линейных средах, и бесспорно, в вакууме). Т.е. это значит, что поля различных источников *складываются как вектора, образуя новое единое поле*. Во многом представления о магнитном поле введены по аналогии с представлениями об электрическом поле, где основной характеристикой также полагается силовая характеристика «напряженность электрического поля»  $\vec{E}$  [1]. С использованием представлений об электрическом и магнитном полях и их силовых характеристиках построена система уравнений Максвелла, являющаяся фундаментом современной электродинамики. Поэтому вопрос о полноте и фундаментальности самих этих базовых представлений является важным гносеологическим вопросом, ответ на который способен оказать глубокое влияние на ход развития всей физической науки. Мы попытаемся в данной работе лишь наметить путь решения этого вопроса, на котором использование инструментов ТРИЗ может оказать существенную помощь физикам. Всеобъемлющее же решение данного вопроса, скорее всего, потребует значительного времени и участия большого числа специалистов.

### Постановка задачи

Чтобы попытаться ответить на вопрос «*является ли классическое представление о магнитном поле  $\vec{B}$  полным и фундаментальным?*» надо создать такую физическую систему и такую физическую ситуацию, в которой могли бы ярко проявиться скрытые противоречия (если они есть, разумеется) в понятиях и сформулированных на их основе физических законах. Такая постановка задачи уже позволяет обратиться к инструментам ТРИЗ.

Рассмотрим простую исходную физическую систему – постоянный магнит и проводящий замкнутый контур, содержащий вольтметр (рис. 1)

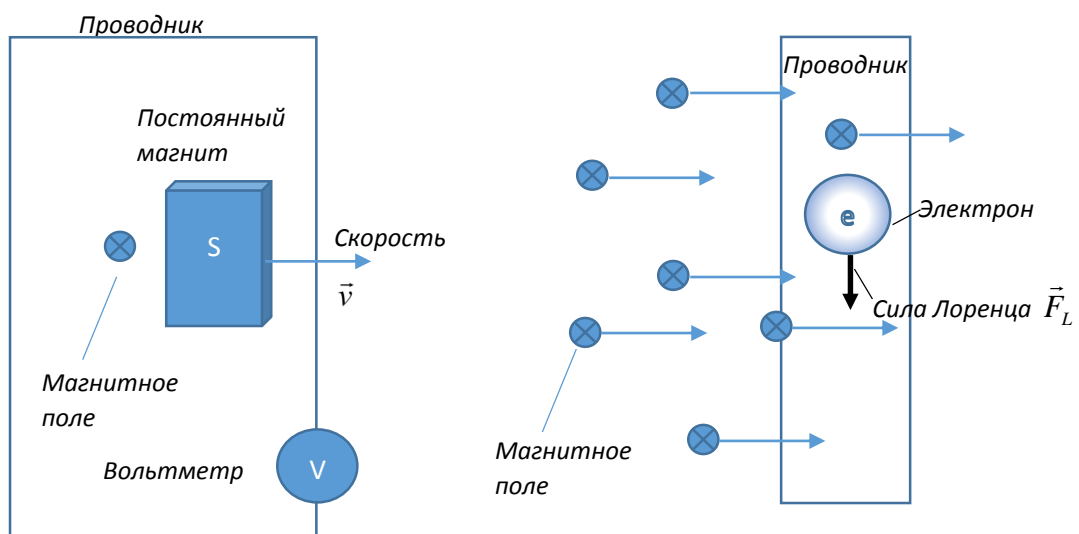
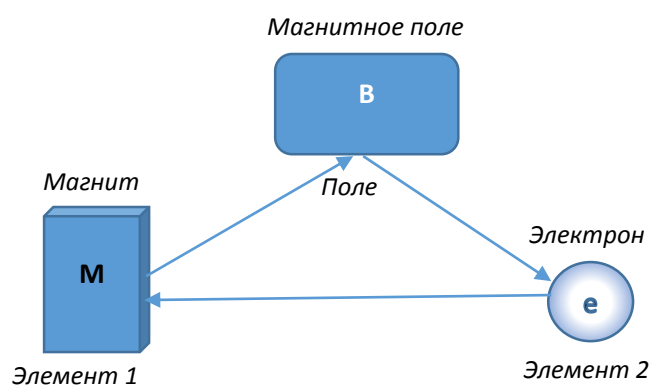


Рис. 1. Исходная физическая система и её микроуровень

Пусть проводящий контур настолько велик по сравнению с размерами магнита, что все его участки можно считать бесконечно удалёнными от магнита, за исключением участка правого вертикального проводника, прилегающего непосредственно к магниту. Это всегда возможно сделать при конечных размерах магнита. Тогда, согласно экспериментальным данным, напряженность магнитного поля во всех участках проводника, кроме оговоренного, стремится к нулю в силу того, что индукция магнитного поля магнита *обратно пропорциональна* кубу расстояния  $R^3$  до него. Пусть магнит движется со скоростью  $\vec{v}$  относительно контура, как показано на рис.1, стремясь выйти из контура наружу в сторону правого вертикального проводника. При этом его магнитное поле перемещается в пространстве вместе с ним и пересекает вышеуказанный участок проводника (во всех остальных участках оно исчезающе мало). Если рассмотреть ситуацию на микроуровне (правая часть рис 1.), то видим, что магнитное поле движется относительно носителей тока в проводнике (электронов), что в силу относительности движения эквивалентно движению самих электронов относительно магнитного поля  $\vec{B}$  и согласно (2) должно вызывать появление магнитной силы Лоренца  $\vec{F}_L$ , действующей на каждый электрон в проводнике. В результате действия этой силы носители тока сместятся, и вольтметр в цепи покажет наличие электродвижущей силы  $U$  (ЭДС). Пока что в данной физической ситуации не наблюдается никаких противоречий или подозрений в нарушении фундаментальности введенных понятий о магнитном поле.

Рассмотрим теперь эту же физическую ситуацию с точки зрения элепольного анализа [4, 5]. Имеем магнит  $\mathbf{M}$  (источник магнитного поля), носитель тока (электрон)  $\mathbf{e}$  и связывающее их магнитное поле  $\mathbf{B}$ , являющееся (по классическим представлениям) переносчиком взаимодействия между  $\mathbf{M}$  и  $\mathbf{e}$ . Отметим, что в данной ситуации мы работаем *не с реальными материальными объектами*, а с *их идеями*, с *научными представлениями о них*. И в этом заключается принципиальное отличие от анализа вещественных систем. Построим соответствующий элеполь и изобразим его на рис. 2.



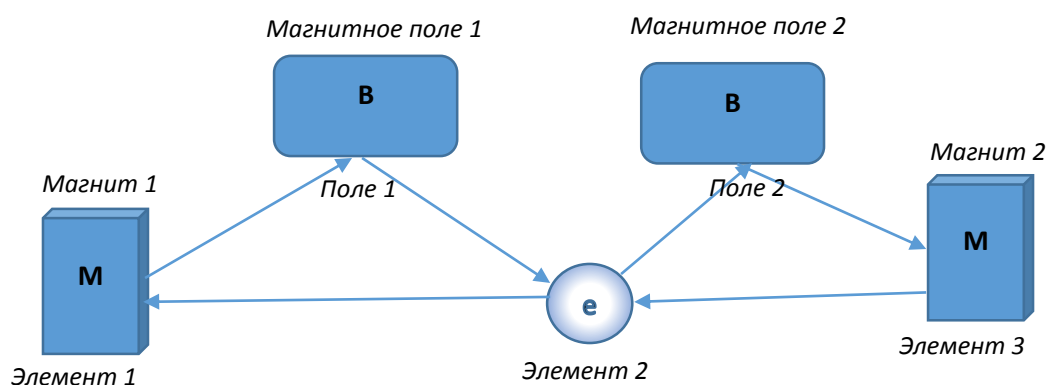
**Рис. 2.** Элеполь физической ситуации, изображенной на рис. 1

В данном случае роль элемента 1 играет магнит  $\mathbf{M}$ , роль элемента 2 играет электрон  $\mathbf{e}$  и, наконец, роль поля играет магнитное поле  $\mathbf{B}$ . Видим, что данный элеполь является полным внутренним элеполем (т.е. элеполем с двумя элементами и одним полем) и, соответственно, заключаем, что в данной

физической ситуации мы вряд ли обнаружим какие-либо недостатки или противоречия в классических представлениях о магнитном поле. Следовательно, физическую ситуацию рис. 1 необходимо как-то видоизменить, чтобы увидеть возможные скрытые противоречия. Как именно видоизменить эту ситуацию, чтобы в ней было бы затронуто большее число принятых в классической физике свойств магнитного поля, и чтобы в то же время имело бы шанс проявиться возможное противоречие? Это и является изобретательской постановкой задачи, в отличие от традиционной физической постановки.

### Ход решения

Вспомним, что справедливость *принципа суперпозиции* считается фундаментальным свойством любого силового поля [5]. Однако в нашей ситуации (рис. 1) и в элеполевой модели (рис. 2) принцип суперпозиции никак не используется, поскольку источник поля всего *один*. Попробуем ввести в физическую ситуацию *второй* источник магнитного поля с такими же характеристиками, как и первый и нарисуем элеполевую модель этой ситуации (мы пока не знаем, как она будет выглядеть на материальном уровне, но вполне можем нарисовать абстрактную элеполевую структуру). При этом мы должны ввести в рассматриваемую систему новый элемент (Магнит 2) и его магнитное поле (Магнитное поле 2).



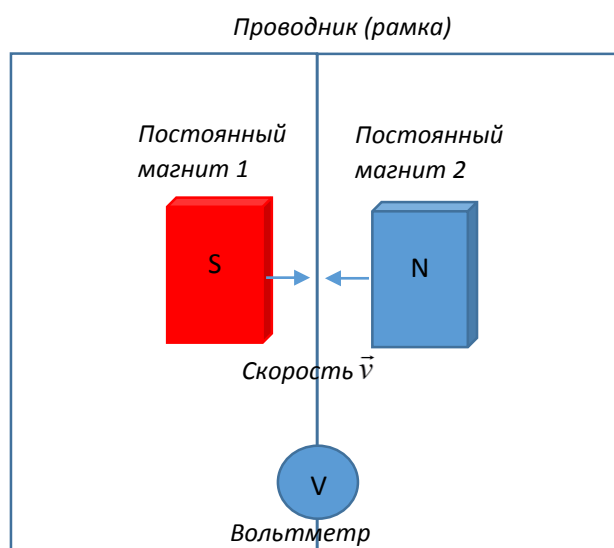
**Рис. 3.** Новая синтезированная элеполевая модель с двумя источниками магнитного поля

Такая элеполевая модель называется цепным элеполем и часто построение цепного элеполя используется для повышения эффективности действия технической системы [6]. В дальнейшем мы увидим, что этот эффект имеет место и в получившейся в итоге физической системе, хотя приёмом достройки элеполя до цепного мы воспользовались для другой цели.

В новой модели на один и тот же носитель тока (электрон) действуют два физически различных источника магнитного поля (два различных магнита) посредством двух различных создаваемых ими магнитных полей. Согласно классическим представлениям физики, их магнитные поля в силу принципа суперпозиции должны «объединиться» в новое, но *единое* магнитное поле, основной характеристикой которого по-прежнему останется магнитная индукция  $\vec{B}$ . Но элеполевый анализ (рис. 3) говорит нам о том, мы будем иметь *два различных*

поля, действующих на один носитель тока. Наконец-то появилось первое настоящее *противоречие*: классическая физика предсказывает «объединение» полей в новое магнитное поле, хотя и с другими характеристиками, но *единое*, а инструмент ТРИЗ предсказывает, что скорее всего в системе будет присутствовать *два различных* поля, каждое из которых по-своему действует на носитель тока. Такое противоречие не может быть разрешено ни в пространстве (пространство, в котором находится носитель тока одно и то же), ни во времени (время одно и то же). Это противоречие, однако, может быть разрешено *в отношениях*. Ниже мы вернёмся к этому вопросу. Нам осталось понять, какими должны быть магнитные поля, и какой должна стать физическая ситуация, чтобы мы могли экспериментально выяснить, какое из предсказаний оправдывается в опыте.

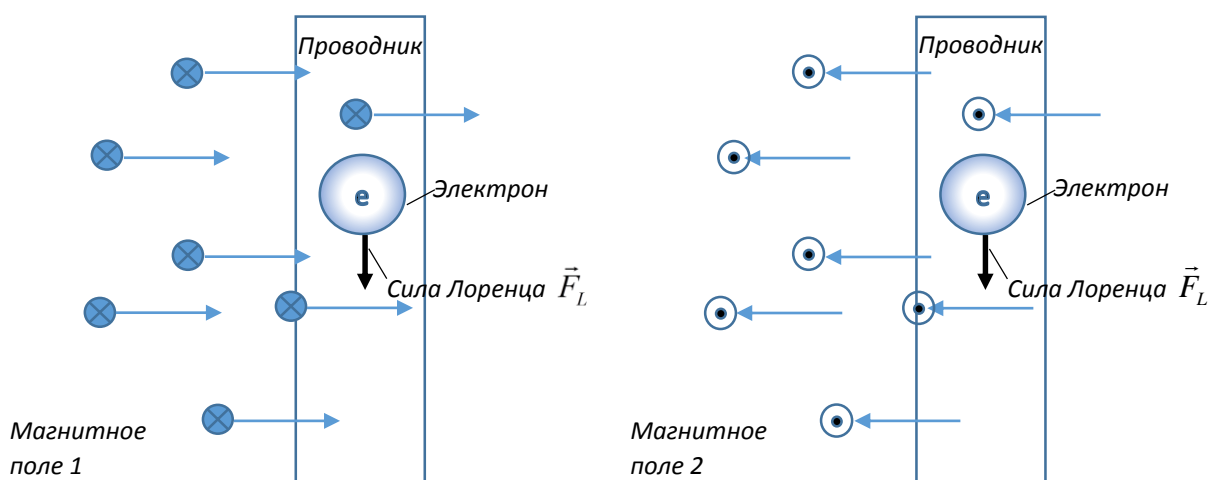
Попытаемся усилить противоречие (что также является стандартным приёмом ТРИЗ). Потребуем, чтобы «классическое» предсказание было бы «экстремальным», то есть давало бы отсутствие магнитного поля вообще, т.е. предсказывало бы равенство нулю основной характеристики магнитного поля – его индукции  $\vec{B}$ . Что для этого нужно сделать? Для этого нужно, чтобы поля, создаваемые магнитами в месте нахождения носителей тока, были бы *равны по величине и противоположны по направлению* (см. модель [7]). Тогда, согласно принципу суперпозиции, суммарная индукция этих полей будет нулевой и классический физический механизм возникновения магнитной силы Лоренца, выраженный формулой (2), должен перестать действовать. То есть, в цепи должна исчезнуть ЭДС! С учётом сформулированного усиления противоречия мы уже вполне можем построить *материальную* физическую систему, соответствующую абстрактной цепной элеполюсной модели (рис. 4). При этом мы должны учесть, что для сохранения нулевой результирующей индукции магнитного поля в вертикальном проводнике необходимо двигать магниты навстречу друг другу с *одинаковой* по модулю скоростью.



**Рис. 4.** Материальная физическая система, синтезированная на основе цепного элеполя

В построенной таким образом физической системе магнитное поле во всех участках контура всегда отсутствует, т.е. его индукция практически равна нулю. В

удалённых от магнитов участках она равна нулю в силу их удалённости, а на вертикальном участке контура между магнитами поле равно нулю в силу принципа суперпозиции, поскольку поля магнитов равны по величине и противоположны по направлению. Возникнет ли ЭДС в такой системе при синхронном взаимном сближении или удалении магнитов? Если исходить исключительно из определения напряженности магнитного поля (1) и выражения для силы Лоренца (2), то она возникнуть не должна. В то же время проведенный на системе рис. 4 *реальный эксперимент* показывает, что она не только возникает, но и в два раза больше по величине, чем в простой моносистеме на рис. 1. Вот в каком именно смысле доработка элеполя системы до цепного привела к увеличению эффективности получившейся бисистемы. На первый взгляд экспериментальный результат может показаться странным, однако физический анализ новой системы на микроуровне демонстрирует, что так и должно быть. В самом деле, рассмотрим микроуровень системы как на рис. 2, но с учётом её усложнения и появления двух полей (рис. 5).



**Рис. 5.** Синтезированная физическая система на микроуровне.

Видим, что магнитное поле 1 направлено поперёк плоскости рисунка «от нас» и движется слева направо, пересекая электрон. Это создаёт силу Лоренца, согласно (2) направленную вниз. В то же время магнитное поле 2 хотя и направлено поперёк плоскости рисунка «на нас», но движется-то справа налево, пересекая электрон. И это также создаёт силу Лоренца, направленную вниз! Таким образом оба поля при движении магнитов толкают носители тока в проводнике в одном и том же направлении, несмотря на то, что формальное применение принципа суперпозиции говорит о том, что магнитного поля в проводнике нет вообще и, соответственно, нет и силы Лоренца. Как же с помощью инструментов ТРИЗ можно разрешить такое противоречие? Давайте выясним, *по отношению к чему* в данной ситуации нет магнитного поля. Его нет по отношению к физическому прибору – магнетометру. И действительно, магнетометр упорно показывает ноль в эксперименте, к какой бы точке проводящего контура на рис. 4 мы его не поднесли. *А по отношению к чему проявляется сила Лоренца*, возникающая при движении магнитов? По отношению к носителям тока в проводнике! Таким образом, *противоречие разрешается в отношениях*: магнитного поля нет по отношению к прибору-магнетометру, но оно есть по отношению к носителям тока в проводнике.

Таким образом мы «поймали» классические представления о магнитном поле на противоречии опыту. В противоречие с опытом вступает представление о магнитном поле как о едином и неделимом материальном объекте, все

характеристики которого определяются вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ , в то время как на практике в определённых физических ситуациях оно ведёт себя так, словно может состоять из нескольких по-разному движущихся частей. Причём эти части сосуществуют в одной области пространства, не уничтожая друг друга и не мешая друг другу оказывать действие на материальные объекты, например, на электроны. В то же время на некоторые объекты, например, на датчик магнетометра они при этом не действуют. И такое положение вещей вполне соответствует философскому принципу неуничтожимости материи: два противоположно направленных поля вовсе не «уничтожают» друг друга, а лишь изменяют форму своего проявления. Отсюда также вытекают и ограничения на применение принципа суперпозиции в отношении магнитного поля: его нельзя бездумно использовать в тех ситуациях, когда есть несколько по-разному движущихся источников магнитного поля. Соответственно, суммируя результаты анализа, мы можем сделать важный вывод о том, что *классическое магнитное поле не является ни полным, ни фундаментальным понятием*. Вероятно, его можно дополнить и обобщить, сделав гораздо более универсальным. Для этого нужно ввести в научный обиход идею механического движения магнитного поля, предоставить ему возможность состоять из множества независимо движущихся частей и видоизменить принцип суперпозиции. Этот принцип по-прежнему можно применять в случае нескольких по-разному движущихся магнитных полей, но применять его нужно *не к индукции* результирующего магнитного поля  $\vec{B}$ , а к *магнитным силам Лоренца*  $\vec{F}_L$ , действующим со стороны каждого из источников на пробную заряженную частицу.

### Критика решения физиками

Многие физики, соглашаясь с тем, что рассуждения, проведенные выше в отношении силы Лоренца вполне логичны, тем не менее отмечают, что они не касаются известного в науке *альтернативного* подхода к объяснению эффекта, изображенного на рис. 4. Этот альтернативный подход восходит непосредственно к Фарадею и базируется на понятии магнитного потока  $\Phi_B$ . По определению [1, с. 217], магнитный поток равен (в нашем случае плоской площадки, расположенной внутри бирамки, и указанного расположения магнитов в плоскости этой площадки):

$$(3) \quad \Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

То есть, при достаточно больших размерах площадки  $S$  (имеется ввиду именно вся площадь, занимаемая бирамкой, а не отдельно её левая или правая половины!) по сравнению с самими магнитами нетрудно убедиться, что  $\Phi_B \approx 0$ . Причём это так даже в том случае, если мы уберём один магнит из системы, как на рис. 1. Ну в самом деле, представьте себе силовые линии нашего магнита (рис.6). Они замкнуты. Т.е. линии, выходящие из одного полюса магнита обязательно «загнутся» и пересекут площадку, чтобы «вернуться» на другой полюс. При больших размерах площадки это произойдёт практически со всеми силовыми линиями. Но они же замкнуты! Где они замыкаются? Внутри магнита, конечно же. Но чтобы пройти внутри магнита, они вынуждены *снова* пересечь площадку рамки, но на сей раз уже в *противоположном* направлении. Получается, что практически все силовые линии каждого магнита дважды пересекут площадку, причём в

противоположных направлениях. По Фарадею это и будет означать, что суммарный магнитный поток стремится к нулю. При небольшом и медленном перемещении магнитов (рис. 4), они по-прежнему остаются примерно в середине площадки, оконтуренной биромкой и суммарный поток по-прежнему близок к нулю.

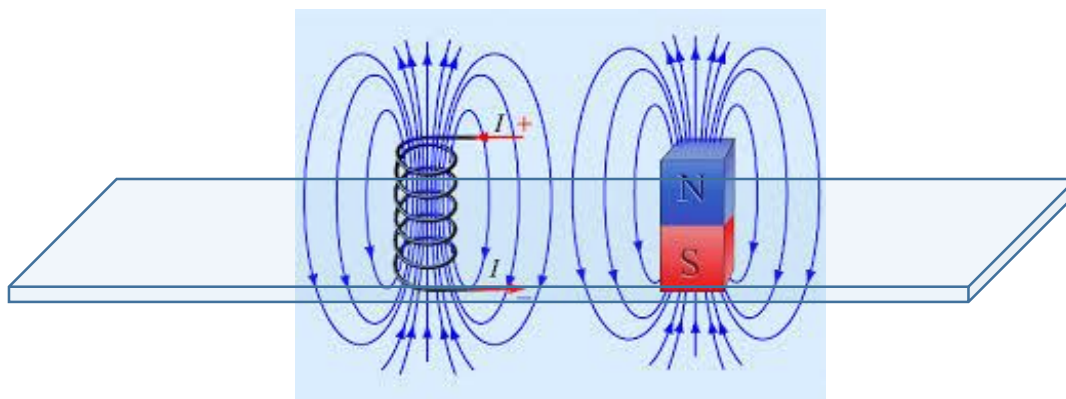


Рис. 6. Силовые линии магнита и плоскость рамки.

Соответственно, применяя закон индукции в форме Фарадея [1, с. 222], мы получим:

$$(4) U = -\frac{d\Phi_B}{dt} \approx 0$$

Другое дело, что существует *искусственный приём*, позволяющий всё-таки получить правдоподобное выражение для ЭДС индукции и через магнитный поток. Для этого *мысленно* делят площадку биромки на две и применяют определение (3) и формулу (4) для *каждой* из площадок. В этом подходе поток не равен нулю и меняется во времени в каждой из полуплощадок и, соответственно, в них возникают ненулевые ЭДС. Но давайте подумаем, что означает разделение полного потока (равного нулю) на две половины, неравных нулю? Да это же и означает, что мы общее магнитное поле мысленно разделили на две части! Получается, что и подход Фарадея в нашем случае вынуждает нас признать, что магнитное поле двух магнитов не является единым, а представляет собой два независимых магнитных поля. Закон индукции в форме Фарадея (4) также не даёт ответа, где именно возникает ЭДС, в каком конкретно участке контура. Кроме того, у Фарадеевского подхода есть серьёзный методологический недостаток. Взгляните на выражение (4). Оно говорит нам, что ЭДС в проводнике (в контуре, т.е. в линии) может возникнуть, *даже если индукция магнитного поля в этом проводнике всюду равна нулю*. Достаточно, чтобы изменялся магнитный поток где-то внутри контура, ограниченного проводником. Например, в середине. То есть физическое явление «здесь» (в проводнике) обусловлено событиями «там» (в середине площадки) без всякого упоминания о материальном посреднике. Т.е. неким чудесным образом. Нетрудно заметить, что такой подход – типичный рудимент идей дальнего действия, которые во времена Фарадея всё ещё владели умами многих физиков. В наше время невозможно удовлетвориться эмпирическими зависимостями, основанными на идее дальнего действия. Физика должна двигаться дальше. Некоторые физики [12] давно заметили, что закон индукции (4) в форме Фарадея не работает для многосвязных контуров (к которым относится и наша биромка) и настойчиво ищут этому объяснения.



## Векторный потенциал и электромагнитная индукция

Следует отметить также, что аппарат *векторных потенциалов*  $\vec{A}$ , ограниченно используемый в классической электродинамике с 1845 года [8], (и как сегодня уже признают некоторые физики, способный полностью заменить аппарат магнитной индукции  $\vec{B}$ ) в данной задаче показал свою полную адекватность экспериментальным фактам и предсказал выражение для ЭДС, численно совпадающее с экспериментально подтвержденным выражением (5) (подробное изложение этого вопроса выходит за рамки школьной программы, и мы не будем его здесь приводить). До сих пор многие физики считают, что векторный потенциал – понятие вспомогательное, абстрактное и используется только для удобства некоторых расчётов, не имея самостоятельного физического смысла. Однако в вышеописанном эксперименте ЭДС оказывается прямо пропорциональной изменению во времени  $U \sim -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$  суммарного результирующего векторного потенциала в пространстве между магнитами. Это даёт основания полагать, что описанный эксперимент пригоден в качестве способа измерения если не самого векторного потенциала, то скорости его изменения во времени (при практически полном отсутствии магнитного поля). Во всяком случае, эксперимент зримо показывает возможность регистрации макроскопических эффектов, вызванных векторным потенциалом  $\vec{A}$  при отсутствии магнитной индукции  $\vec{B}$ . До недавнего времени считалось, что такие явления обнаружены только в отношении отдельных квантово-механических характеристик микроскопических элементарных частиц [9]. Следовательно, можно сделать вывод о том, что понятие «поле векторного потенциала», которое сегодня уже широко используется некоторыми физиками, является более фундаментальным, нежели традиционное понятие «магнитное поле», поскольку полностью описывает все ситуации, в которых хорошо работает понятие магнитного поля плюс целый ряд ситуаций, когда это понятие не работает. Хотелось бы отдельно отметить *для преподавателей физики*, что полезно было бы иногда приводить студентам и даже школьникам примеры (подобных вышеописанной) физических ситуаций, в которых вскрывается несовершенство тех или иных широко используемых сегодня научных понятий и представлений. Это позволит им увидеть науку не как нечто застывшее и высеченное в мраморе, но как увлекательнейший и полный внутреннего драматизма процесс познания, в котором они могут принять самое деятельное участие на сколь угодно глубоком уровне.

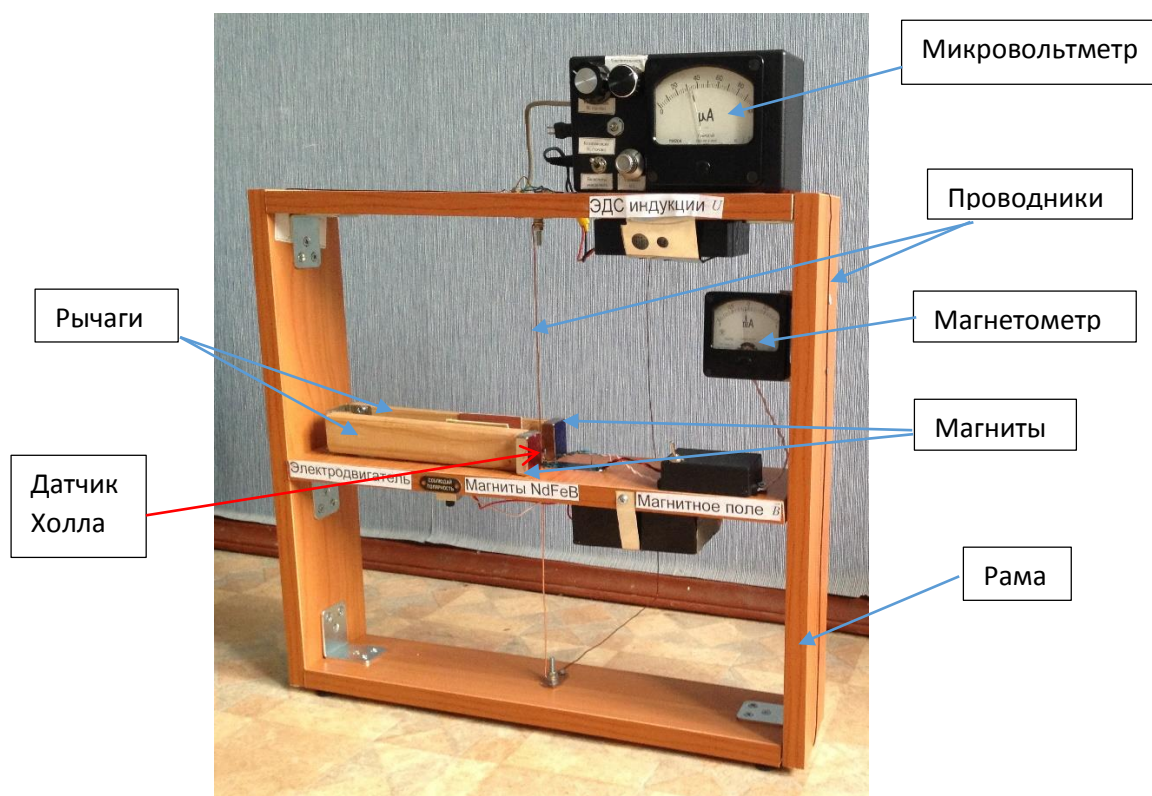
### Эксперимент

Для опытной проверки двух различных вышеописанных предсказаний теории мы построили экспериментальную установку и провели ряд прямых опытов. Установка (рис. 7) состоит из проводящего контура, выполненного медным проводом толщиной 1 мм, расположенного на деревянной раме, размеры которой во много раз больше размеров использованных магнитов. В средней части рамы установлена полка, на которой закреплён электродвигатель с эллиптическим толкателем. Этот толкатель упирается в два параллельных немагнитных рычага, способных перемещаться. На концах рычагов закреплены постоянные магниты. Центральный провод рамки проходит точно посередине между магнитами. При вращении вала двигателя оба магнита синхронно отодвигаются толкателем от провода, затем при дальнейшем повороте толкателя синхронно приближаются (за

счёт взаимного притяжения магнитов) и цикл повторяется. Частота вращения около 1 оборота в секунду. Это вызывает возникновение периодически (2 раза в секунду) изменяющейся ЭДС в проводнике, которая измеряется электронным и стрелочным микровольтметром. Индукция результирующего магнитного поля между магнитами и в других точках проводящей рамки контролируется магнитометром и близка к нулю (в 50 раз меньше индукции поля каждого магнита). Величина возникающей ЭДС  $U$  (действующее значение) предварительно оценивалась по формуле:

$$(5) U = 2 \cdot \bar{B} \cdot v \cdot L$$

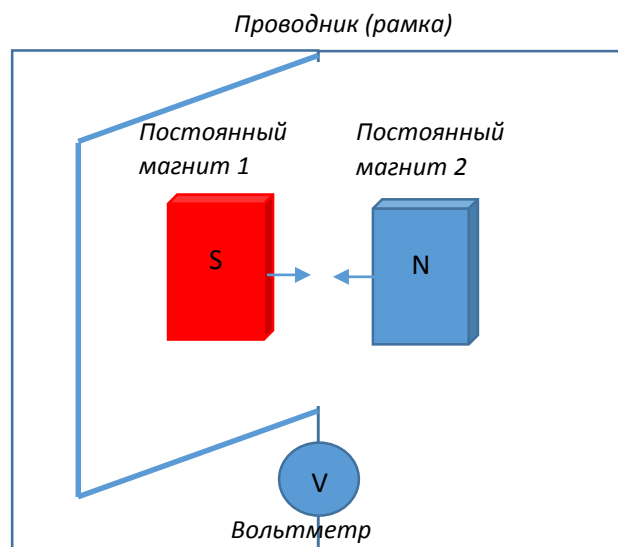
Где  $\bar{B}$  - средняя по величине индукция магнитного поля *одного* магнита на отрезке провода, расположенного между магнитами (примерно 0.25 Тл),  $v$  - средняя скорость перемещения каждого из магнитов (примерно 2 см/сек), и, наконец,  $L$  - длина призматических магнитов (3 см). Множитель 2 в формуле (3) появился из-за того, что магнитов в системе два и эффект, соответственно, должен усилиться вдвое. Подстановка численных значений в (5) даёт величину ЭДС  $U = 2 \cdot 0.25 \cdot 0.02 \cdot 0.03 = 0.3 \text{ мВ}$ . То есть, доли милливольты. Такую ЭДС затруднительно измерить непосредственно, и требуется усилить. Есть различные способы это сделать. Самый простой – использовать усилитель напряжения, с достаточно большим коэффициентом усиления. Мы выбрали именно этот способ. Можно также сделать проводящую рамку многовитковой, но витков потребуется намотать сотни, и такой способ становится довольно трудоёмким. Кроме того, он ограничил бы нас в возможностях проведения некоторых весьма простых и наглядных экспериментов на данной установке. Фотография установки с обозначением элементов приведена на рис. 6.



**Рис. 7.** Фотография экспериментальной установки и её элементы

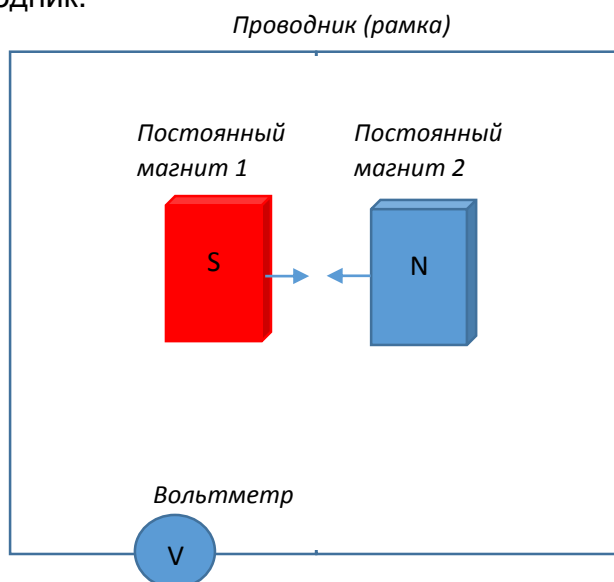
Прямое измерение ЭДС установки вышеописанным способом даёт величину 0.34 мВ, что, можно считать очень хорошим совпадением с формулой (5), учитывая

ограниченную точность оценки величин, входящих в эту формулу. Увеличивая и уменьшая скорость вращения электродвигателя, мы убедились в том, что величина ЭДС действительно линейно зависит от скорости перемещения магнитов, в полном соответствии с (5). Для того, чтобы убедиться в том, что ЭДС возникает именно в центральном проводнике рамки мы расположили этот проводник не между магнитами, а в плоскости, перпендикулярной плоскости рамки (рис. 8) и убедились, что в этом случае ЭДС отсутствует.



**Рис. 8.** Контрольный эксперимент с измененным центральным проводником рамки

Также мы включали микровольтметр в разрыв боковых проводников рамки и убедились, что и в этом случае ЭДС отсутствует (рис. 9) если отсутствует центральный проводник.



**Рис. 9.** Контрольный эксперимент с измерением ЭДС в рамке без центрального проводника

Следовательно, ЭДС возникает именно в центральном проводнике рамки, когда он расположен между движущимися магнитами, хотя именно в этой области

магнитное поле весьма мало и при аккуратном соблюдении симметрии может быть сделано практически сколь угодно малым. Таким образом экспериментально подтверждено несовершенство классических представлений о магнитном поле, его свойствах и его действии на носители тока.

## Заключение

Итак, мы продемонстрировали, что ряд инструментов ТРИЗ (в частности, элеспольный анализ, разрешение противоречий в отношениях, усиление противоречий и т.п.) может быть с успехом применён к решению самых фундаментальных и сложных вопросов науки. Его можно и нужно применять не только при разработке экспериментов (что почти очевидно, поскольку любая экспериментальная установка является технической системой), но и при разработке понятий, законов, теорий, их сравнении и анализе степени полноты и фундаментальности. В частности, мы показали, с использованием инструментов ТРИЗ, что классические представления о магнитном поле как минимум несовершенны и нуждаются в серьёзном пересмотре. А именно, либо понятие «магнитное поле» должно быть заменено другим понятием, например, понятием «векторный потенциал», либо в дополнение к вектору магнитной индукции необходимо ввести представления о его механическом движении и соответственно изменить формулировку принципа суперпозиции для магнитных полей. Все рассуждения, расчёты и эксперименты проведены, практически не выходя за рамки школьной программы по физике. Полученные выводы во многом согласуются с современными представлениями релятивистской электродинамики и квантовой механики об отсутствии фундаментальности в понятии «магнитное поле» и отсутствии у него самостоятельного бытия (по представлениям современной релятивистской электродинамики магнитное поле является не материальной субстанцией, а всего лишь физическим эффектом, простым следствием закона Кулона и принципа относительности в формулировке Эйнштейна) [11].

## Литература

1. Т. И. Трофимова. КУРС ФИЗИКИ. Глава 14. Магнитное поле. 11-е издание, стереотипное, Москва, АCADEMIA, 2006 г.
2. К. Ю. Богданов. Учебник физики 11 класс. § 2. МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ПРАВИЛО БУРАВЧИКА. ВИХРЕВОЙ ХАРАКТЕР МАГНИТНОГО ПОЛЯ. М. Просвещение. 2010.
3. Викиверситет. Физика (11 класс) / Магнитное поле. Магнитная индукция. [Принцип суперпозиции.](#)
4. Рубин М.С., [Элеспольный анализ как развитие вепольного и функционального анализа в ТРИЗ.](#)
5. Проект 4Brain.ru. Урок 4. [Методы анализа ТРИЗ](#)
6. М. С. Рубин, В. И. Кияев. [Основы ТРИЗ и инновации. Применение ТРИЗ в информационных системах.](#) Учебное пособие. СПб. 2011
7. Принцип суперпозиции магнитных полей. [Интерактивная модель магнитного поля двух источников.](#)

8. Джексон Дж. Классическая электродинамика. Глава 5. Магнитостатика. §4 Векторный потенциал. Перевод с английского Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева. Под редакцией Э. Л. Бурштейна. Изд "Мир" Москва 1965.
9. Wikipedia. [Aharonov-Bohm-effect](#).
10. И. Мисюченко. [Векторный потенциал и энергия магнитного поля движущейся частицы](#).
11. Дж. Орир. Физика. Глава 17. Электрический ток и магнитная сила. §4 Эмпирические данные о магнитной силе, с. 310-311. Полный курс. Из-во «КДУ». 2015.
12. Ромер. Р. Что измеряют «вольтметры»? Закон Фарадея для многосвязной области. – Перевод из: Amer. J. Phys., December 1982, p. 1069