

О ПАРАДОКСАХ ФАРАДЕЯ

К.Б. Канн

kkann@yandex.ru

Аннотация

Анализ большого числа исследований униполярной индукции позволил обобщить результаты измерений разных авторов и объяснить те результаты, которые уже давно считаются "парадоксальными". Эти результаты получают логичное объяснение при последовательном и правильном использовании исходных идей Майкла Фарадея о природе явления электромагнитной индукции. Работа позволяет завершить многолетнюю дискуссию на интернет-форумах и в научной печати по проблемам "Униполярная индукция" и "Парадоксы Фарадея".

Хотя с проявлениями электрических и магнитных свойств люди знакомы давно, долгое время эти процессы рассматривались как независимые природные явления. Годом рождения науки об электромагнетизме следует считать 1820 год, когда Х. Эрстед обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку. Это означало, что электрический ток *порождает* магнитное поле. Так как магнитные свойства проявляли лишь движущиеся заряды (электрический ток), то новая наука стала называться *электродинамикой*.

Гениальный самоучка Майкл Фарадей, убежденный в единстве сил природы, не мог поверить в отсутствие процесса, обратного тому, который обнаружил Эрстед. В 1822 г. в его дневнике появилась запись: "Обратить магнетизм в электричество". После множества опытов и неудач 29 августа 1831 года он, наконец, получил желаемый результат – открыл процесс "обращения магнетизма в электричество" – явление *электромагнитной индукции*. В этом году ему исполнилось 40 лет, но он был уже членом Лондонского королевского общества и почетным членом Петербургской Академии наук.

1. Электромагнитная индукция

Успех пришел, когда Фарадей создал простое устройство – железное кольцо, на которое медным проводом было намотано две изолированные друг от друга обмотки. Концы одной из обмоток были замкнуты проводящей перемычкой, возле которой распо-

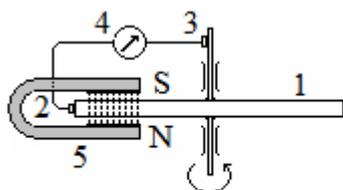


Рис. 1

лагалась магнитная стрелка. При подключении второй обмотки к гальванической батарее магнитная стрелка поворачивалась и через некоторое время "успокаивалась". Смысл этого результата Фарадей уловил мгновенно. Последовало множество опытов с катушками и магнитами – постоянными и "мягкими", которые намагничивались в контакте с постоянными магнитами. На девятый день Фарадей создал устройство, получившее позже название "Диск Фарадея" (Рис. 1). Медный диск 1 вращался между полюсами подковообразного магнита 5. Край диска и его ось с помощью токосъемников 2 и 3 были подключены к гальванометру 4. При вращении диска с постоянной скоростью гальванометр устойчиво показывал электрический ток.

По результатам многочисленных опытов Фарадей сформулировал основное условие возникновения электромагнитной индукции (ЭМИ). Таким условием является обязательное *пересечение* проводником "физических силовых линий" магнитного поля. Позже Фарадей установил и количественную связь между индукционным током и скоростью пересечения магнитного потока Φ проводником. Эту связь Фарадей представил в форме:

$$\Delta q = \frac{\Delta \Phi}{r}, \quad (1)$$

где Δq – заряд, который протечет по замкнутому проводнику за время, пока проводник пересекает магнитный поток $\Delta\Phi$, а r – сопротивление электрического контура. В работе [1] Фарадей так сформулировал это условие:

"...количество электричества, протекшего по цепи тока, прямо пропорционально числу перерезанных проводником [магнитных] линий... [и проводимости цепи]".

Видно, что это определение описывает явление ЭМИ, возникающее в движущемся проводнике, пересекающем линии магнитного поля. Чтобы оценить индукционную ЭДС, возникающую в замкнутом, но неподвижном контуре, это выражение нужно преобразовать.

1.1. Два закона ЭМИ.

В дифференциальной форме соотношение (1) представляется так:

$$dq = \frac{d\Phi}{r}. \quad (2)$$

Разделим это выражение на время dt и представим в форме

$$i = \frac{1}{r} \cdot \frac{d\Phi}{dt}, \quad \text{или} \quad \xi = \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2, a)$$

где $i = dq/dt$ – мгновенное значение тока в цепи, а $\xi = ir$ – ЭДС, создаваемая в контуре. С учетом правила определения положительного направления тока в контуре, охватывающем магнитный поток,

$$\xi = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (2, b)$$

Выражение (2, b) позволяет рассчитать результат индукционного процесса в замкнутом контуре, когда явно отсутствует пересечение провода магнитными линиями, а изменение магнитного потока происходит путем изменения магнитной индукции B в потоке, пронизывающем контур. Явление ЭМИ в этой форме можно определить так:

Индукционная ЭДС в замкнутом проводящем контуре определяется скоростью изменения магнитного потока $d\Phi/dt$, пронизывающего контур.

В большинстве случаев это выражение дает те же результаты, что и соотношение (2). Однако, Дж. Максвелл, впервые получивший это выражение, понимал, что оно лишь формально согласуется с представлениями Фарадея, а фактически описывает другой физический процесс, отличный от механизма ЭМИ Фарадея. Но, руководствуясь другими соображениями, Максвелл ввел соотношение (2, b) в свою знаменитую систему уравнений как "основное уравнение ЭМИ". Долгое время эта ("максвелловская") формулировка ЭМИ считалась эквивалентной определению Фарадея, пока не появились экспериментальные факты, опровергающие это мнение. Но это уже – другая история (см. сайт [2], раздел "Двулика индукция").

2.1. Парадоксы ЭМИ.

Талантливый и неутомимый экспериментатор М. Фарадей продолжал исследовать открытое им явление. В одном из опытов он расположил медный диск 1 соосно с неподвижным цилиндрическим магнитом 5 (см. Рис. 2). Разность потенциалов между осью и краем диска, как и ранее, снималась с токоъемников 2 и 3 и измерялась гальванометром 4 . При вращении диска гальванометр, как и ожидалось, показывал наличие

тока (ЭДС ξ) в измерительной цепи. Продолжая экспериментировать, Фарадей *приклеил* диск к магниту (через изоляционную бумажную прокладку) и стал вращать диск *вместе* с магнитом. К своему удивлению он обнаружил, что гальванометр и в отсутствии относительного перемещения диска и магнита показывает... тот же ток! Чтобы объяснить этот результат, Фарадей предположил, что при вращении магнита магнитное поле с ним не вращается, а остается неподвижным.

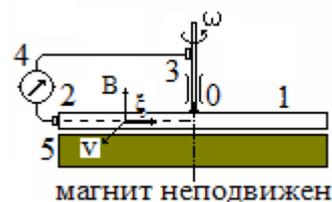


Рис. 2

Сегодня, глядя из 21-го века на события 200-летней давности, трудно определить ход мыслей Фарадея, но, проследив последовательность его поступков, попробуем восстановить логику его рассуждений. Такой ретроспективный взгляд может оказаться полезным для понимания творческого метода великого естествоиспытателя.

Итак: предположение, что при вращении магнита, склеенного с немагнитным проводящим диском, магнитное поле не вращается, объясняло результат опыта, представленного на рисунке 2. Но Фарадея такое объяснение не устраивало, так как оно противоречило основной установке, полученной в результате многочисленных предыдущих опытов и наблюдений, а именно, что "физические силовые линии" магнитного поля материальны, жестко связаны с магнитом и *должны* вращаться вместе с ним.

Полагая, что ЭДС генерируется в медном диске, Фарадей сделал последний шаг – вовсе удалил из устройства диск *1*, а токосъемник *2* подвел непосредственно к магниту на уровне его центрального сечения (см. Рис. 3). Фарадей понимал, что свободные электроны в магните, вращаясь *вместе* с магнитом и не пересекая магнитные линии, не могут создавать ЭДС в теле магнита. Поэтому он ожидал, что в этом варианте гальванометр ничего не покажет. Но при вращении магнита гальванометр показывал... все ту же ЭДС = ξ !

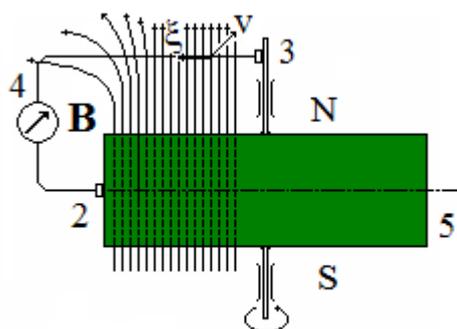


Рис. 3

Оставалось последнее предположение, что индукционная ЭДС создается не во вращающемся теле, а в *проводах* измерительной цепи, которые пересекает магнитный поток. И это предположение оказалось верным, еще раз подтвердив основное заключение Фарадея о механизме ЭМИ.

В 1885-91 году Престон [3] опубликовал работы, в которых показал, что ЭДС в устройствах Фарадея не должны зависеть от того, вращается ли поле вместе с магнитом или остается неподвижным. Это, по-видимому, и был тот результат, который Фарадей получил экспериментально за 60 лет до публикации работ Престона. В свое время Фарадей удовлетворился результатами своих опытов, потому что не сомневался в том, что магнитное поле вращается вместе с магнитом, и опыты подтвердили предложенный им механизм ЭМИ. Но 60 лет спустя работы Престона вызвали у исследователей большой интерес. Это было время, когда менялись взгляды на природу электромагнитных полей. Были предприняты многочисленные попытки разрешить "парадокс Престона" и установить, вращается ли магнитное поле вместе с магнитом. Но все измерения с использованием явления ЭМИ, как и в опытах Фарадея, не давали однозначный ответ. Среди специалистов утвердилась точка зрения, что "никаким экспериментированием в области электромагнитной индукции ... нельзя безупречно строго доказать справедливость той или иной точки зрения относительно поведения магнитного потока, связанного с вращающимся магнитом" [4]. Дискуссия по вопросу, вращается ли магнитное поле вместе с магнитом, возобновилась в конце 19-го века в связи с осознанием необходимости "материализации" полей в условиях абсолютного вакуума.

Этот спор имеет более глубокие корни. Фарадей (и Максвелл) считали магнитные линии реально существующими ("физическими", материальными) объектами. Какой бы

ни была природа магнитного поля, ориентированные в пространстве магнитные линии определяют его *структуру*. Кроме того, Фарадей обнаружил, что эти линии обладают механической *упругостью*, которая проявляется "в натяжении в направлении силовых линий, соединенном с давлением во всех направлениях, к ним перпендикулярных" [5]. Эти свойства магнитных линий были установлены *экспериментально*. "Придумать" или "присвоить" их магнитному полю невозможно, что и делает магнитные линии реальными (материальными, объективно существующими) объектами. Противоположного мнения придерживался патриарх советской электродинамики – академик И.Е. Тамм. В своем Отчете АН СССР за 1932 год [6] он отмечал, что "...всякая попытка вернуть науку вспять – ко времени Фарадея и Максвелла – является по существу глубоко реакционной". Вот как он представлял магнитные линии в своем классическом "Курсе теории электричества" [7]:

"В движении силовых линий, пересекающих неподвижный проводник, усматривалась причина возникновения в этом проводнике электродвижущих сил индукции. Нечего и говорить, что такая интерпретация не выдерживает никакой критики: силовые линии являются лишь вспомогательным понятием, служащим для описания поля, а не какими-либо материальными образованиями...". Последовательный сторонник "пустого пространства" И.Е. Тамм объяснял электромагнитные взаимодействия в вакууме эффектами Специальной теории относительности (СТО).

Разница между *реальностью* "физических силовых линий", которую признавал Фарадей, и их оценкой И.Е. Таммом как "вспомогательного" (*мысленного!*) понятия – принципиальная. В 30-е годы прошлого века на страницах философских журналов активно обсуждались материалистический и идеалистический подходы в науке. И.Е. Тамм часто занимал в этих дискуссиях идеалистическую платформу, что неоднократно отмечалось в околонучной печати [8]. Но научный авторитет И.Е. Тамма и сегодня настолько велик, что многие исследователи не решаются опровергать мнение "наместника Максвелла в России". Поэтому спор о природе магнитных линий и структуре магнитного поля продолжается и в наши дни. "Научная общественность" обсуждает эти проблемы в специальной печати и на форумах в Интернете, а исследователи продолжают создавать и изучать все новые экспериментальные устройства, включающие "диск Фарадея". При этом возникают новые вопросы. Появляются новые результаты, удивляющие авторов, а вся эта проблема получила название "Парадоксы ЭМИ" [9].

В последние годы исследователи все больше приходят к пониманию, что в абсолютном вакууме какие-либо физические взаимодействия невозможны. Во времена Фарадея и Максвелла считалось, что все пространство заполнено гипотетической сплошной средой – "мировым эфиром", которому приписывались странные и противоречивые свойства. Этой точки зрения уже тогда придерживались многие талантливые ученые. В своих работах, посвященных анализу и развитию воззрений Фарадея и Максвелла на магнитное поле, академик В.Ф. Миткевич развивал мысль, что "физические" линии магнитного поля представляют собой вихревые линии в сплошном невязком эфире, которые (согласно Г. Гельмгольцу) должны быть замкнуты и неуничтожимы [4, с. 34]. Похоже, что вопрос о природе магнитного (и электрического) поля нельзя разрешить без достаточно полного понимания природы и свойств мирового эфира.

2.2. Анализ исследований униполярной индукции.

Генерирующие устройства с использованием диска Фарадея называют "Униполярными генераторами" (УПГ). Они обратимы и могут работать в качестве двигателей. Мы рассмотрим здесь проблемы, связанные лишь с генерацией индукционной ЭДС – явлением ЭМИ в схемах с диском Фарадея.

За полтора века было создано, опробовано и используется на практике множество таких устройств. Они применяются в технологиях, где необходимы большие токи при низких напряжениях (например, при электролизе). Во многих случаях их эксплуатация не вызывает вопросов. Но в некоторых случаях обнаруживаются и неожиданные – "па-

радоксальные" результаты. Ниже мы рассмотрим результаты исследований униполярной индукции, описанные в научной печати и содержащие достаточно полную и достоверную информацию, и попытаемся объяснить те результаты, которые кажутся авторам "парадоксальными".

При оценке механизма ЭМИ мы будем исходить из трех положений, высказанных еще Фарадеем и Максвеллом, справедливость которых обсуждалась выше:

1. Индукционный ток возникает лишь при пересечении свободными зарядами (проводниками) линий магнитного поля (механизм Фарадея).
2. Магнитные линии – это реальные ("физические") объекты, которые жестко связаны со своим источником (током, магнитом) и перемещаются (в частности – вращаются) вместе с ним. Как следствие:
3. При любых перемещениях магнита индукционная ЭДС в нем возникнуть не может.

В общем случае любое экспериментальное устройство с диском Фарадея включает три элемента – магнит **М**, немагнитный проводящий диск **Д** и измерительную цепь (контур) **ИК**. М. Ленц (Lenz) собрал это устройство из отдельных элементов. Все элементы могли вращаться на одной оси независимо друг от друга с разными скоростями (см. Рис. 4) (здесь и далее приводятся сведения из частной переписки). С помощью этой схемы автор провел тщательные измерения ЭДС, возникающей в измерительной цепи при разных вариантах работы устройства. В **Таблице 1** приведены результаты этих измерений:

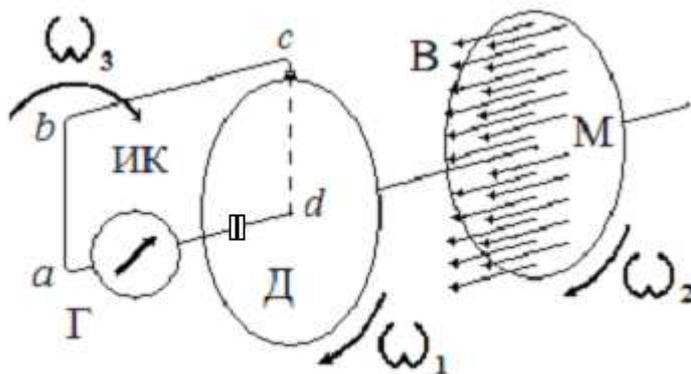


Рис. 4

Таблица 1

Вариант №	Вращение			Инд. ЭДС	Объяснения (см. Рис. 4)
	Диск Д	Магнит М	Измерит. контур (ИК)		
1	0	0	0	0	Нет движения
2	ω_1	0	0	ξ	ЭДС в диске Д (плечо <i>cd</i>)
3	0	ω_2	0	0	МП не проникает в ИК
4	0	0	ω_3	ξ	ЭДС в ИК (плечо <i>ab</i>)
5	ω_1	ω_2	0	ξ	ЭДС в ИК (плечо <i>ab</i>)
6	0	ω_2	ω_3	ξ	ЭДС в диске Д (плечо <i>cd</i>)
7	ω_1	0	ω_3	0	МП не проникает в ИК
8	ω_1	ω_2	ω_3	0	Нет относит. движения

"Ноль" в соответствующей ячейке таблицы означает, что в данном опыте элемент устройства оставался неподвижным. В остальных ячейках указана угловая скорость ω вращения элемента. В вариантах, отмеченных в колонке "Инд. ЭДС" символом ξ , в измерительной цепи фиксировалась индукционная ЭДС. В последней колонке таблицы приведены объяснения этих результатов – элемент, в котором возникает ЭДС, или причина ее отсутствия. Видно, что результаты опытов не всегда совпадают с нашими ожиданиями, что и создает впечатление "парадоксальности" результата.

Прокомментируем результаты, приведенные в таблице:

Все опыты можно разделить попарно на 4 группы – варианты 1 – 8, 2 – 6, 3 – 7 и 4 – 5. Опыты в каждой паре отличаются "зеркальной" симметрией, т.е. могут быть получены заменой системы координат. Видно, что эти (попарные) эксперименты дают одни и те же результаты, т.е. во всех случаях выполняется закон относительности движения. Заметим, что в большинстве рассмотренных нами работ по исследованию различных вариантов УПГ получены результаты, совпадающие с теми, которые приведены в таблице, что говорит об их достоверности. Все они исчерпывающе объясняются тремя приведенными выше положениями. Опыты Фарадея в таблицу не включены, но они, как было описано выше, тоже подчиняются этим положениям.

Некоторое объяснение требуется к вариантам 3 – (7). В варианте 3 вращается лишь магнит. Измерительная цепь, включающая радиус cd неподвижного диска, представляет плоский *неподвижный* контур. При вращении магнита \mathbf{M} линии его однородного поля всегда параллельны плоскости контура и пересекают этот контур как бы "плашмя". Линии поля не проникают в контур и (согласно зависимости Максвелла (2, b)) ЭДС в контуре не индуцируется. Иначе (в варианте ЭМИ Фарадея): при пересечении \mathbf{HK} линиями поля они индуцируют в двух противоположных сторонах контура – ab и cd (см. Рис.4) – равные и противоположные ЭДС, которые компенсируют друг друга, образуя результирующую ЭДС $\xi = 0$.

Так что при правильном использовании приведенных выше трех положений удастся разрешить все "парадоксы" униполярной индукции и таким образом закрыть проблему "парадоксов Фарадея".

2.3. Экранизация магнитного поля в схемах УПГ.

В конце прошлого века в журнале *Galilean Electrodynamics* (?) была опубликована статья Мюллера (F.J. Müller) со знаменательным названием "Экспериментальное опровержение Специальной теории относительности (униполярная индукция)" [10]. В специальном устройстве автор провел серию измерений явления ЭМИ в отрезке провода при его вращательном и поступательном движении в неподвижном магнитном поле. Приведем вывод автора, сделанный по результатам анализа этих экспериментов: "Специальная теория относительности терпит поражение в экспериментах, проведенных в области ее применения (в электродинамике движущихся тел). Общая теория относительности также не может здесь помочь, т.к. в экспериментах отсутствуют какие-либо ускорения" (см. также [11]). Оценку правильности и корректности этого заключения предоставим специалистам по СТО. Здесь же мы рассмотрим результаты измерений Мюллера с точки зрения оценки правильности наших представлений о явлении ЭМИ и получения некоторых новых сведений об этом явлении.

Экспериментальное устройство Мюллера отличается от других аналогичных устройств тем, что в нем магнитное поле замкнуто ферромагнитным ярмом, позволяющим экранировать некоторые элементы измерительной цепи. Это создает дополнительные возможности для диагностирования явления ЭМИ. На рисунке 5 представлено экспериментальное устройство Мюллера для изучения ЭМИ в поле вращающегося магнита. Оно представляет собой модификацию устройства Фарадея, представленного на рисунке 3.

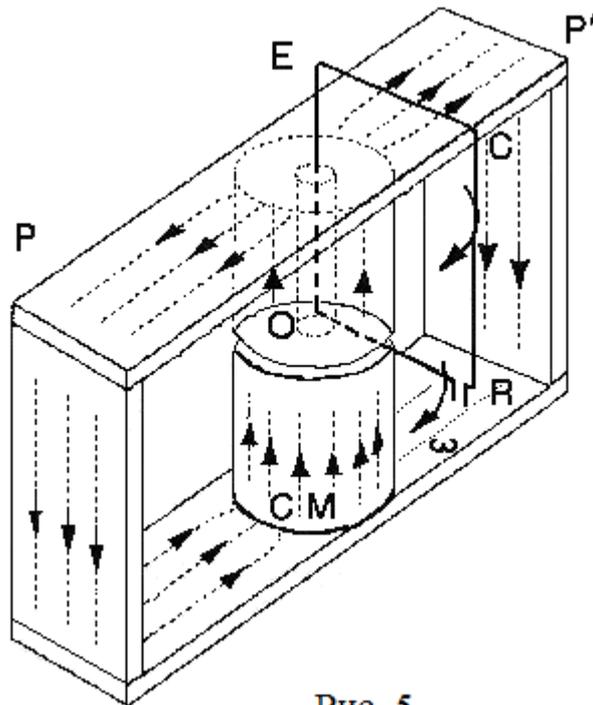


Рис. 5

Цилиндрический магнит **СМ** автор разрезал на два магнита, которые могли вращаться вокруг оси **ОЕ**. Зазор между половинками магнита позволял организовать измерительную цепь **ОЕСR** из изолированных проводов, не содержащую ни немагнитного диска, ни подвижных токосъемников. В точке **R** цепи ее концы соединялись через подвижный (ртутный) контакт (не показан), что позволяло поворачивать элементы цепи **OR** и **ЕСR** независимо друг от друга на небольшие углы. Ток в измерительной цепи измерялся гальванометром (не показан). Поле постоянных магнитов было замкнуто ферромагнитными пластинами. В частности, участок измерительной цепи **ЕСR** экранировался пластиной **PP'**.

В **Таблице 2** представлены результаты измерений индукционной ЭДС в измерительной цепи с помощью экспериментального устройства Мюллера:

Таблица 2

Вариант №	ВРАЩЕНИЕ			Инд. ЭДС	Объяснения	Аналог в Таблице 1
	Участок OR	Участок ЕСR (экранирован)	Магнит СМ (поле неподв.)			
1	0	0	0	0	Нет движения	№1
2	ω_1	0	0	ξ	ЭДС в OR	№2
3	0	ω_2	0	0	Экран	№1
4	0	0	ω_3	0	Нет движения	№1
5	ω_1	ω_2	0	ξ	ЭДС в OR	№2
6	$\omega_1 = \omega_3$	0	ω_3	ξ	ЭДС в OR	№2
7	0	ω_2	ω_3	0	Нет движения	№1
8	$\omega_1 = \omega_3$	ω_2	ω_3	ξ	ЭДС в OR	№2

Комментарии:

1). Прежде всего, обращает внимание, что, независимо от каких-либо других движений, индукция в измерительной цепи возникает лишь при перемещении участка **ОР**. Это имеет место даже в случаях 6 и 8, когда отрезок **ОР** перемещается *вместе* с магнитом. Это может означать лишь, что линии магнитного поля, пересекающие отрезок **ОР**, всегда остаются *неподвижными*.

2). Независимо от того, движется ли участок **ЕСР**, экранированный магнитным ярмом **РР'**, или остается неподвижным, на значение ЭДС это не влияет. Это подтверждает основное положение Фарадея, что причиной возникновения ЭДС в явлении ЭМИ является *пересечение* ("перерезание") проводов магнитными линиями.

Сравнение таблиц 1 и 2 показывает, что устройство Мюллера принципиально отличается от других аналогичных устройств, что обусловлено присутствием в нем ферромагнитных пластин – экранов. Они экранируют участок измерительной цепи от магнитного поля, полностью исключая его влияние на генерацию ЭДС на этом участке и – главное – исключают *вращение* магнитного поля вместе с магнитом. Если первый эффект предсказуем, то второй можно считать неожиданностью. Напомню, что таблица 1, в которой обобщаются результаты многих измерений различных авторов, получена с учетом того, что магнитное поле *вращается* вместе с магнитом.

Результаты, полученные Мюллером и представленные в **Таблице 2**, полностью объясняются теми же тремя **ПОЛОЖЕНИЯМИ** с той особенностью, что магнитные экраны полностью *затормаживают* вращение магнитного поля.

3. Вращается ли магнитное поле?

Мы уже говорили о дискуссии по этому вопросу, которая не утихает уже более 100 лет. Ответ на этот вопрос, который больше века искали с помощью ЭМИ, на который не давал ответ даже теоретический анализ Престона, разрешили измерения Мюллера. И только то, что эти эксперименты были нацелены на решение другой задачи (опровержение СТО), оставило этот результат незамеченным.

Анализ результатов Мюллера однозначно показывает, что при вращении цилиндрического магнита, заключенного в жесткий ферромагнитный каркас, магнитное поле (МП) с магнитом *не вращается*. На первый взгляд этот вывод противоречит основному положению Фарадея, что линии МП жестко связаны со своим источником. Но при этом не учитываются результаты тщательных и многочисленных исследований Фарадеем свойств и особенностей магнитного поля. Хотя магнитные линии всегда остаются замкнутыми, они способны к определенным *преобразованиям*. Фарадей долго исследовал эти условия и описал механизмы этих преобразований. Подробный анализ этих исследований приведен в работе академика В.Ф. Миткевича [4, гл. IV]. Мы не будем здесь описывать многие любопытные следствия этого рассмотрения. Приведем лишь несколько выводов, необходимых для понимания полученных Мюллером результатов.

Когда магнит *свободно* вращается, его магнитное поле вращается вместе с ним, на что неоднократно обращал внимание Фарадей. На рисунке 6 показан цилиндрический магнит, заключенный в жесткий магнитный каркас. В этих условиях поле магнита жестко сцеплено с неподвижным полем каркаса, которое *тормозит* поле вращающегося магнита. Это и есть тот случай, когда поле не может следовать за своим носителем. В таких условиях магнитное поле испытывает *преобразования* – принудительную деформацию, которая приводит к новым эффектам. На левой выноске (см. Рис. 6) показан участок свободного пространства между вращающимся магнитом и башмаком ферромагнитного ярма. Видно, что при вращении магнита его магнитные линии в зазоре искривляются. Однако это искривление не может быть большим, т.к. линии жестко связаны с неподвижным полем ярма. По порядку величины это искривление соизмеримо с постоянной кристаллической решеткой ярма. Как поведет себя поле в этом случае? Об-

ратимся к классическим исследованиям Фарадеем процессов преобразований магнитного поля.

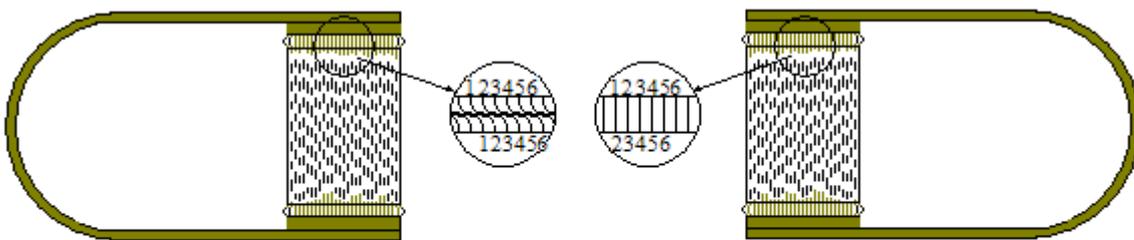


Рис. 6

Фарадей показал, что любая принудительная деформация магнитного поля сводится к непрерывному преобразованию отдельных линий поля, в процессе которого путем слияния (и/или разделения) отдельных отрезков этих линий происходит либо сращивание некоторых линий, либо их деление на две обособленных (но замкнутых!) линии. Фарадей отмечал, что "при сращивании не происходит никакого увеличения полной силы линий" (магнитной индукции). И далее: "Сращивание не есть добавление одной силовой линии к другой в отношении активности, но является их объединением в общий контур" [1]. При деформации магнитных линий, показанной на рисунке, будет происходить сращивание соседних линий. Это сращивание будет происходить со сдвигом линий, после чего упругость линий будет восстанавливать прежнюю (однородную) структуру поля (см. правую выноску на Рис. 6). Так как "зазоры" между линиями соизмеримы с межатомными расстояниями, то эти преобразования происходят за ничтожные доли секунды. Заметить этот сдвиг ни в пространстве, ни во времени не удастся. Тем более он не различим при пересечении магнитных линий проводником. Создается *впечатление*, что при вращении магнита между губками магнитного ярма его поле остается неподвижным.

Во всем остальном результаты экспериментов Мюллера подчиняются тем положениям, которые определяют результаты ЭМИ в поле свободно вращающихся магнитов, представленные в **Таблице 1**.

4. О "парадоксах" в электродинамике.

Электродинамике всего 200 лет. Для новой науки это – младенческий возраст. Но за короткое время она обросла многими мифическими "результатами" и предрассудками. Анализ современного состояния показывает, что многие "парадоксы" в современной электродинамике можно объяснить "эффектами роста" – отклонениями от здравого смысла, допущенными (вольно или невольно) рядом исследователей.

Экспериментальная основа электродинамики была заложена М. Фарадеем. Теоретический анализ этих результатов в середине 19-го века выполнил Дж. Максвелл. С самого начала этот анализ был нацелен на доказательство существования "электромагнитного излучения", экспериментально подтвержденного позднее (в 1888 г.) Г. Герцем. По мысли Максвелла "электромагнитное излучение" должно было представлять собой *взаимодействие и перемещение* электрических и магнитных *полей* в пространстве. Поэтому знаменитая система уравнений Максвелла была создана как математическая теория *электромагнитного поля*, которая давала для электромагнитного излучения волновое решение. Скорость распространения электромагнитных волн оказалась равной скорости света. Все последующие "допущения", "предположения" и "трактовки" в оценке экспериментальных результатов получили свое отражение в сложившихся сегодня представлениях о природе "электромагнитных волн".

4.1. История одного заблуждения.

Для реализации исходной идеи нужно было

- 1) представить экспериментальный закон ЭМИ Фарадея в форме *взаимодействия полей* и
- 2) "симметризовать" электрическое и магнитное поля, чтобы представить их компонентами одной "субстанции" – электромагнитного поля.

Первую задачу Максвелл решил путем простых преобразований зависимости Фарадея, как показано выше (см. п. 1.1). Максвелл, очевидно, понимал, что такое (*математически* тождественное!) преобразование искажает природу ЭМИ, предложенную Фарадеем, но на том уровне развития электродинамики такая "девиация" казалась несущественной. Неприятности проявились намного позже, когда обнаружилось многочисленных "парадоксы ЭМИ" (см. [9]).

Вторая задача оказалась намного сложнее. Электрическое и магнитное поле по своей природе – принципиально разные понятия. Максвеллу удалось их "симметризовать" лишь в рамках "мирового эфира", присвоив последнему свойства диэлектрика. Максвелл включил это представление (вторым уравнением) в свою систему уравнений в своей ранней работе 1862 года. К чести Максвелла необходимо сказать, что он скоро понял свою ошибку, и это уравнение больше не вошло ни в одну из его последующих работ. Эту задачу "разрешили" после смерти Максвелла его доброжелатели и "последователи" Г. Герц и О. Хэвисайд, вернув обратно в систему второе уравнение. Автор [12] писал: "Какие причины обусловили введение Г.Герцем и О.Хэвисайдом второго уравнения? В конечном счете, одна – соображения симметрии ..., требовавшей двойной формы представления электромагнетизма". Такое насилие над природой потребовало "изобретения" еще одного фантома – "ток смещения в вакууме".

Первое, но самое серьезное отклонение от представлений Фарадея допустил великий Максвелл, представив явление ЭМИ в форме (2, *b*). Если в формулировке Фарадея (1) это явление представлялось как взаимодействие магнитного поля с *электрическими зарядами*, то формула Максвелла представляла явление ЭМИ как *взаимодействие полей*. Эта идея была представлена в знаменитой системе уравнений Максвелла уравнением

ем $\mathbf{rot} \mathbf{E} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt}$. Оно *постулировало* появление в контуре замкнутого (*вихревого!*)

электрического поля \mathbf{E} , которое в проводящей среде – по мнению автора – и создавало индукционный ток. Такое решение "объясняло" появление в замкнутом контуре индукционного тока, что не удавалось объяснить с помощью гипотезы Фарадея, но повлекло за собой несколько ошибок, исказивших природу явления ЭМИ:

- 1) Формула Максвелла не учитывает, что ЭМИ – это не диссипативный, а *генераторный* процесс. Она предполагает, что индукционный ток в контуре создается ЭДС ("вихревой"!), индуктированной магнитным полем. Но, в электрогенераторе заряды движутся *сторонними силами* и притом – против поля! Анализ ЭМИ в разомкнутом проводнике, движущемся в магнитном поле, показывает, что – в полном соответствии с механизмом Фарадея – магнитное поле *сначала* создает индукционный ток, который *затем*, перемещая заряды, *образует* на концах проводника индукционную ЭДС. Т.е. формула Максвелла, исказив "фарадеевский" механизм ЭМИ, нарушила причинно-следственную связь в этом процессе.

- 2) Постулировала "Вихревое электрическое поле" – фантом, не существующий в природе [13].

- 3) СТО нанесла "максвелловскому" механизму ЭМИ окончательный (и смертельный!) удар, "заставив" его "работать" в пустоте. Эта возможность была заложена в формуле Максвелла, но никогда не проверялась экспериментально. Чтобы поля могли "взаимодействовать" в вакууме, "последователи" Максвелла наделили их материальными свойствами – массой, энергией, импульсом, а создавать магнитное поле "заставили" другой фантом – "ток смещения в вакууме" – производную от электрической индукции! Сегодня доказано, что в вакууме ток смещения отсутствует [14].

В результате этих "новаций" сформировались современные представления об "электромагнитном излучении в вакууме", которое не только не может переносить энергию, но вообще не может перемещаться в пространстве. Подробности см.:

на сайте <http://electrodynamics.narod.ru> и в монографии

К. Канн, "Электродинамика здравого смысла": Lambert Academic Publishing, 2012.

Заключение. Выводы.

Приведенный анализ результатов многочисленных измерений ЭМИ с использованием различных вариантов униполярных устройств показывает, что вся "парадоксальность" некоторых из них объясняется нарушением трех простых положений, высказанных и экспериментально обоснованных еще М. Фарадеем. Эти положения дают правильные ответы на результаты ЭМИ как в поле вращающихся и поступательно движущихся магнитов, так и в магнитных системах, ограниченных жесткими ферромагнитными рамками, экранирующими отдельные участки измерительной цепи.

В заключительном разделе статьи было показано, что "волюнтаристские" отклонения теоретических представлений электродинамики от экспериментальных результатов привели к нарушению ряда закономерностей, надежно установленных создателями электродинамики. Эти нарушения законов природы завели современную теоретическую электродинамику в тупик, из которого есть единственный выход – назад, к аргументированному, *научному* анализу экспериментов основоположников этой молодой науки.

Ломать – не строить! Прежде, чем ломать, не мешает вдуматься и понять *замыслы и мотивы* "первостроителей".

Литература

1. *М. Фарадей*. Экспериментальные исследования по электричеству, т. 3, с. 3115.
2. [www/http://electrodynamics.narod.ru/](http://electrodynamics.narod.ru/)
3. *Preston*. "Philosophical Magazine", 1885, 1891.
4. *В.Ф. Миткевич*. Магнитный поток и его преобразование. Гл.3. – Изд. АН СССР, М.-Л, 1946. С. 34, 74, 83.
5. *Д.К. Максвелл*. Статьи и речи. – М.: Наука, 1968. С 59.
6. *И.Е. Тамм*. Отчет АН СССР за 1932 г. С. 226.
7. *И.Е. Тамм*. Основы теории электричества. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. §112.
8. *З. Цейтлин*. Одно замечание по поводу статьи И.Е. Тамма. – Ж. "Под знаменем марксизма", №2, 1933. С. 230.
9. *К.Б. Канн*. О парадоксах закона ЭМИ. <http://micro-wold.su/files/4034>
10. *F.J. Myller*. An experimental disproof of special relativity theory (unipolar induction). <http://home.comcast.net/~adring/muller.htm>
11. *F.J. Myller*. "Unipolar Induction", *Galilean Electrodynamics*, Vol. 1, p. 27, (1990).
12. *Н.Т. Маркчев*. "Сравнение различных форм системы уравнений Максвелла". – в Сб. статей: "Максвелл и развитие физики XIX – XX веков". – М.: Наука, 1985. С. 93.
13. *К.В. Канн*. "Vortex electric field" - <http://www.sciteclibrary.ru/textsts/eng/stat/st3906eng.pdf>
14. *В.А. Эткин*. О физическом смысле токов смещения. <http://www.sciteclibrary.ru/textsts/rus/stat/st5974.pdf>