

Векторный потенциал и энергия магнитного поля движущейся частицы

И. Мисюченко

Санкт-Петербург 30.01.2015

Аннотация

В работе рассмотрена полная собственная кинетическая энергия движущейся нерелятивистской сферической заряженной частицы и показано, что, во-первых, её векторный потенциал описывает не только механический импульс, но и всю кинетическую энергию частицы и, следовательно, должен содержать в себе всю информацию о «магнитных» взаимодействиях этой частицы. При этом векторный потенциал такой частицы адекватно описывает «релятивистское искажение» её электрического поля. А, во-вторых, показано, что «обычное» магнитное поле $\vec{B} = \text{rot}\vec{A}$ содержит в себе только 2/3 собственной кинетической энергии такой частицы а ещё 1/3 содержится в так называемом «скалярном» магнитном поле $B = \text{div}\vec{A}$, которое в данном случае не только не равно нулю (как принято считать в нерелятивистской магнитостатике) но и производит вполне реальное физическое действие на пробные заряды (по крайней мере на микроскопическом уровне). Указано, что никакие пространственные производные вектора \vec{A} не содержат информации о направлении механического импульса частицы и, соответственно, все явления «магнитной» индукции не могут исчерпываться только понятиями «обычного» и «скалярного» магнитных полей. Понятие «векторного потенциала» является более общим, нежели понятие «магнитного поля» и вполне может заменить его собой, также как понятие «потенциал» шире понятия «заряд» и может его заменить. Приведены соответствующие этому выводу простые эксперименты.

Рассмотрим движущуюся равномерно и прямолинейно со скоростью \vec{v} сферическую поперечно заряженную зарядом q микроскопическую частицу. Условимся, что эта частица состоит из «чистого заряда», т.е. не содержит в себе никакой «неэлектромагнитной массы» и радиус этой частицы равен r_0 . Как неоднократно показано в предыдущих работах [1, 2], такая частица будет вести себя так, словно она-таки обладает массой:

$$(1) m_0 = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r_0}$$

Очевидно, что это её электромагнитная масса, связанная исключительно с зарядом и конечным размером частицы, т.е. полностью определяется конфигурацией электрического поля частицы. Из этого следует, что протяженные заряженные

объекты обладают инерцией и «массой» уже только в силу того, что они заряженные и протяженные. Поскольку в уравнениях Максвелла [7] объемная плотность заряда однозначно выражается через электрическое поле частицы:

$$(2) \rho = \varepsilon_0 \operatorname{div} \vec{E},$$

то можно заменить в рассуждениях понятие «заряд» на понятие «объемный интеграл дивергенции напряженности электрического поля частицы» [8]. Т.е. фактически признать, что слова «заряд» и «электрическое поле» суть лишь различные способы говорить об одном и том же. Вспомним также, что напряженность электрического поля \vec{E} может быть выражена через потенциал электрического поля φ как $\vec{E} = -\operatorname{grad}(\varphi)$ [9]. Таким образом:

$$(3) q = \int_V \rho dV = \int_V \varepsilon_0 \operatorname{div} \vec{E} dV = - \int_V \varepsilon_0 \operatorname{div}(\operatorname{grad}(\varphi)) dV$$

Отсюда видно, что понятие «заряд» характеризует некоторую специфическую пространственную неоднородность электрического потенциала и, соответственно, понятие «потенциал» является более общим и содержит больше информации и чем «заряд» и чем «напряженность». Проиллюстрировать этот вывод можно простым примером. Рассмотрим полую проводящую электрически заряженную сферу. Внутри такой сферы потенциал отличен от нуля, однако напряженность электрического поля равна нулю. Если пробная частица, находящаяся внутри сферы неподвижна, то она «не замечает» электрического потенциала. Как, впрочем, и заряда. Если же она начнёт *двигаться* относительно сферы, то между ней и заряженными стенками сферы возникнет «магнитное» взаимодействие и экспериментатор обнаружит это. Взаимодействие будет зависеть и от заряда сферы и от её размера, т.е. соответственно величине электрического потенциала. Таким образом, и в опыте потенциал несёт больше информации, чем один только заряд или напряженность.

Теперь вернёмся к нашей движущейся частице и запишем общепринятое выражение для её векторного потенциала за пределами частицы:

$$(4) \vec{A} = \frac{\varphi \cdot \vec{v}}{c^2},$$

где $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$, скалярный электрический потенциал, а c - скорость света в вакууме.

Глядя на структуру выражения (4) мы видим, что «векторный потенциал» просто-напросто соответствует движущемуся «скалярному потенциалу». Т.е. вовсе необязательно вводить в науку новое «поле векторного потенциала», как иногда пытаются делать некоторые исследователи, а достаточно лишь позволить *двигаться* скалярному потенциалу. Отметим, что перенос понятия механического движения на поля не является простым и автоматическим делом, но имеет ряд особенностей и тонкостей [1]. В настоящее время в физике это направление мысли развито крайне слабо и, соответственно, просто не принято говорить о механическом движении полей. Мы изобразим графически на рис. 1 поле векторного потенциала, рассчитанное для нашего случая в системе Matlab R2013.

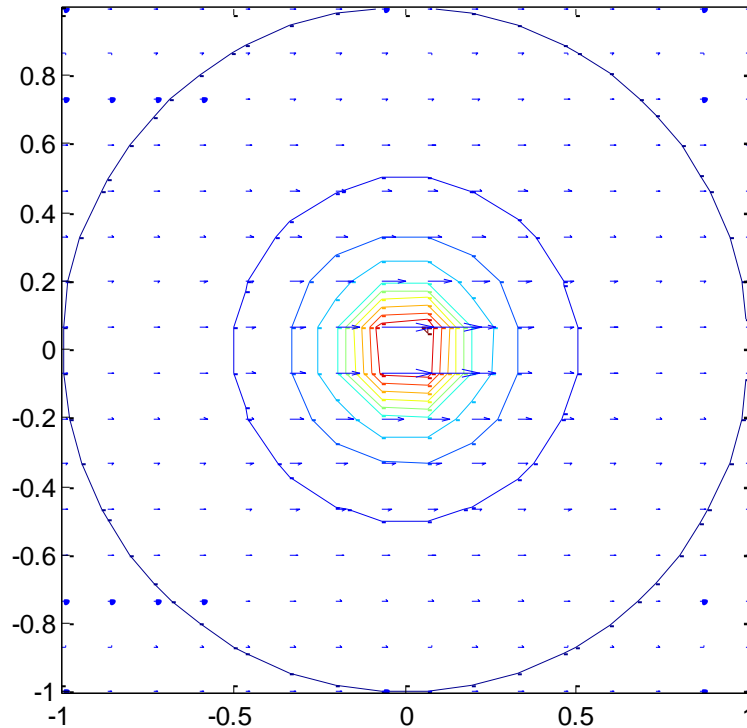


Рис. 1. Поле векторного потенциала частицы, изображенное в системе Matlab R2013

Ранее мы показали [10], что векторный потенциал (4) частицы (умноженный на заряд) содержит полную информацию о механическом импульсе частицы. Покажем теперь, что он же содержит информацию о кинетической энергии такой частицы. Поскольку собственный механический импульс частицы \vec{P}_0 выражается как [10, формула (13)]:

$$(5) \quad \vec{P}_0 = \frac{1}{2} A(r_0) \cdot q = \frac{1}{2} 2 \cdot \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} \cdot \vec{v} = m_0 \vec{v},$$

А кинетическая энергия в механике связана с импульсом выражением:

$$(6) \quad K = \frac{\vec{P}_0^2}{2m_0},$$

то, подставляя (5) в (6) получим:

$$(7) \quad K = \frac{\left(\frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} \cdot \vec{v} \right)^2}{2 \cdot \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0}} = \frac{\frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} \cdot \vec{v}^2}{2} = \frac{m_0 \vec{v}^2}{2}$$

и видим, что это *стандартная кинетическая энергия* частицы массой m_0 движущейся со скоростью \vec{v} . А поскольку и механический импульс, и кинетическая

энергия нашей частицы оказываются совершенно стандартными, то можно сказать, что векторный потенциал несёт всю информацию об обеих этих механических характеристиках, хотя «использует» только электродинамические исходные данные.

Перейдём теперь к рассмотрению магнитного поля нашей движущейся частицы. Известно, что обычное (векторное) магнитное поле можно выразить через векторный потенциал как [6]:

$$(8) \quad \vec{B} = \text{rot}(\vec{A})$$

Пусть наша частица движется вдоль оси (OX) в плоскости (XY) листа (рис. 2)

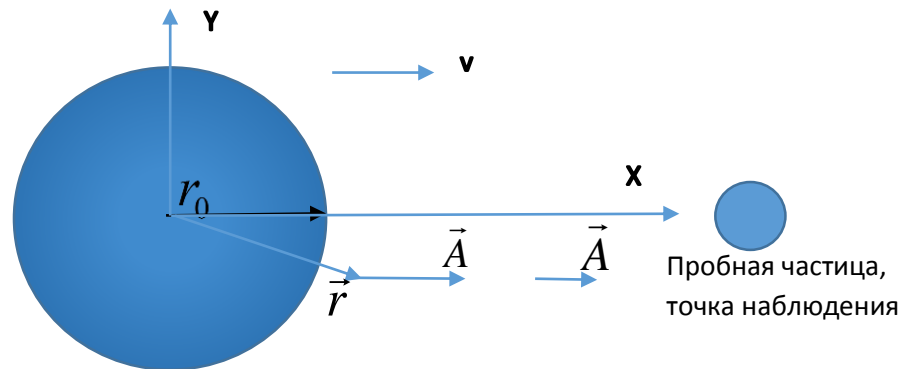


Рис. 2. Заряженная частица движется вдоль оси (OX)

Тогда векторный потенциал представляет собой векторное поле, все стрелки которого направлены вдоль оси (OX) и отличаются лишь по длине, задаваемой формулой (4), следовательно, имеет только ненулевую x-компоненту и её ротор можно записать в виде координатных компонент как:

$$(9) \quad \begin{cases} \text{rot}(\vec{A})_x = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \equiv 0 \\ \text{rot}(\vec{A})_y = \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} = \frac{\partial A_x}{\partial z} = \frac{\mu_0 q v}{4\pi} \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = \frac{\mu_0 q v}{4\pi} \frac{z}{\left(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right)^3} = B_y \\ \text{rot}(\vec{A})_z = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} = -\frac{\partial A_x}{\partial y} = -\frac{\mu_0 q v}{4\pi} \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = -\frac{\mu_0 q v}{4\pi} \frac{y}{\left(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right)^3} = B_z \end{cases}$$

Где B_y и B_z - компоненты обычного (векторного) магнитного поля. Известно выражение для плотности энергии $w_{\vec{B}}$ магнитного поля [11]:

$$(10) \quad w_{\vec{B}} = \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0} = \frac{1}{2\mu_0} \left(\frac{\mu_0 q v}{4\pi} \right)^2 \cdot \left(\left(\frac{z}{r^3} \right)^2 + \left(\frac{y}{r^3} \right)^2 \right),$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ - расстояние от частицы до точки, в которой определено магнитное поле. Полную энергию поля $W_{\vec{B}}$ можно определить, интегрируя плотность энергии $w_{\vec{B}}$ по всему объёму V пространства:

$$(11) \quad W_{\vec{B}} = \int_V w_{\vec{B}} dV$$

Выберем полярную систему координат (r, θ, φ) , в которой элемент объёма записывается как:

$$(12) \quad dV = r^2 \sin \theta dr d\theta d\varphi$$

А координаты x , y и z как:

$$(13) \quad \begin{cases} x = r \sin \theta \cos \varphi \\ y = r \sin \theta \sin \varphi \\ z = r \cos \theta \end{cases}$$

Тогда интеграл (11) с учётом (10) распадается на сумму двух интегралов (интегрирование произведено в системе Matcad 15.0):

$$(14) \quad \begin{cases} W_{B_y} = \int_0^\pi d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{r_0}^\infty \left(\frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \right) \cdot \left(\frac{r \sin \theta \sin \varphi}{r^3} \right)^2 r^2 \sin \theta dr = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \cdot \frac{4\pi}{3r_0} = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{24\pi r_0} \\ W_{B_z} = \int_0^\pi d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{r_0}^\infty \left(\frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \right) \cdot \left(\frac{r \cos \theta}{r^3} \right)^2 r^2 \sin \theta dr = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{32\pi^2} \cdot \frac{4\pi}{3r_0} = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{24\pi r_0} \end{cases}$$

Видим, вычлняя в (14) электромагнитную массу по (1) получаем:

$$(15) \quad \begin{cases} W_{B_y} = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{24\pi r_0} = \frac{2}{3} \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{2}{3} K \\ W_{B_z} = \frac{\mu_0 q^2 v^2}{24\pi r_0} = \frac{2}{3} \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{2}{3} K \end{cases}$$

Сумма этих компонент составляет полную энергию обычного магнитного поля движущейся частицы:

$$(16) \quad W_B = W_{B_y} + W_{B_z} = \frac{4}{3} \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{4}{3} K$$

Видим до боли знакомую картину: энергия магнитного поля почему-то превышает величину кинетической энергии, точно также, как потенциал на поверхности частицы вдвое превышает полную *собственную* энергию частицы, а векторный потенциал (умноженный на заряд) вдвое превышает *собственный* механический импульс частицы. И уже отчётливо понимаем причину таких удвоений: чтобы получить *собственную* величину той или иной характеристики частицы надо не привносить извне пробный заряд, а тем или иным образом «разобрать» *собственный* заряд частицы. Таким образом и при вычислении энергии магнитного поля надо «*разобрать*» элемент тока $qv = Idl = 2Ir_0$ на части (например, на отдельные «нити» тока) и постепенно удалять эти части в бесконечность (они удалятся, разумеется, *вместе с зарядом* частицы, что приведёт к *меньшему* значению полной собственной энергии!). При такой процедуре мы получим собственную энергию *вдвое меньшую* чем энергия магнитного поля:

$$(17) \quad W_{B_{\text{собств}}} = \frac{1}{2} W_B = \frac{2}{3} K$$

Вот теперь многое понятно: полная *собственная* энергия магнитного поля движущейся заряженной частицы *на треть меньше*, чем её механическая кинетическая энергия, исчисляемая с использованием понятия «масса». Становится ясно, что именно упустили Фейнман, Парцелл и Зоммерфельд, изучая идею электромагнитной массы: они не осознали разницу между понятиями «энергия» и «*собственная* энергия». В их представлении энергия, которую приобретёт в поле частицы пробная частица – это и есть *собственная* энергия поля, в то время как это всего лишь та энергия, которую экспериментатор *сам же и затратил* на то, чтобы вначале «притащить» пробную частицу из бесконечности. Вот из-за этой-то ошибки в физических представлениях (а не в формальных математических преобразованиях!) они и получили «лишнюю» энергию и «лишний» импульс частицы, откуда и возникли представления о том, что якобы, кроме электромагнитной массы может существовать ещё какая-то «масса неэлектромагнитного происхождения». Как и подозревал сам Фейнман, они и в самом деле «упустили что-то существенное». Если бы они правильно осознали смысл и значение понятий *собственной* энергии и *собственного* импульса, то мигом бы обнаружили, что получили вовсе не «избыточные» импульс и энергию частицы, а откровенно «недостаточные»! Возможно тогда они принялись бы искать недостающее и, скорее всего, нашли бы его. Теперь же это придётся сделать нам.

Понимая, что *собственная* энергия магнитного поля оказалась на треть меньше кинетической энергии частицы, мы просто вынуждены обратить свой взор снова на векторный потенциал частицы (поскольку он-то даёт точный и правильный ответ о величине *собственных* энергии и импульса частицы, как мы уже убедились). И что же мы видим? А мы видим, что «обычное» магнитное поле *отсутствует* на всей оси X вдоль направления движения частицы и, следовательно, там нет никакой обычной магнитной энергии и, значит, там вроде бы не должно наблюдаться и магнитных физических явлений. Но так ли это в самом деле? Это легко выяснить. Известен закон электромагнитной индукции, записанный через векторный потенциал [6] и выражающий напряженность индуцированного электрического поля \vec{E} , неизбежно возникающего при изменении во времени векторного потенциала \vec{A} (несколько иной, более длительный путь продемонстрировать в работе [12] ещё Г. В. Николаев):

$$(18) \quad \vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

Обратившись к рис. 2 видим, что в точке наблюдения (точке нахождения пробной частицы) векторный потенциал не просто отличен от нуля, но и даже имеет большую величину, чем соседние (по вертикальной координате y) точки. С течением времени движущаяся частица всё больше приближается к точке наблюдения, а, значит, векторный потенциал со временем растёт в этой точке. Значит его производная по времени отлична от нуля и на нашу пробную частицу $q_{\text{проб}}$ просто обязана действовать дополнительная к Кулоновской сила $\vec{F} = q_{\text{проб}} \vec{E}$, вызванная полем индукции (18). Нетрудно убедиться, что скорость изменения векторного потенциала в этой точке можно найти из пространственной

неоднородности $\vec{A}(x)$ и скорости движения частицы \vec{v} . Какая же операция дифференцирования по пространству (кроме ротора) указывает нам на пространственную неоднородность векторного потенциала? Разумеется, это дивергенция. Вычислим её формально с учётом того, что векторный потенциал в нашем случае содержит только x-компоненту [5]:

$$(19) \quad \operatorname{div} \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} = \frac{\partial A_x}{\partial x} = \frac{\mu_0 q v}{4\pi} \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = -\frac{\mu_0 q v}{4\pi} \frac{x}{\left(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right)^3} = B^*$$

Нетрудно видеть, что дивергенция векторного потенциала не равна нулю нигде, кроме как в особой точке нахождения самой частицы и она имеет формальную *размерность магнитного поля B^** , т.е. [Тл]. Это скалярная величина, отчего многие исследователи сегодня называют её «скалярным магнитным полем» B^* . Предположим на секунду, что это действительно некое физическое «поле». Тогда его энергия (коль скоро оно измеряется в Теслах) должна вычисляться точно также, как и для обычного магнитного поля, через такую же запись для плотности энергии:

$$(20) \quad W_{B^*} = \int_V w_{B^*} dV = \int_V \frac{B^{*2}}{2\mu_0} dV$$

Подставив в (20) выражение (19) и учитывая *собственность* энергии, интегрируя получим:

$$(21) \quad W_{B^*} = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 q^2 v^2}{24\pi_0} = \frac{1}{2} \frac{2}{3} \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{1}{3} K$$

Вот теперь совсем всё становится понятно: сумма *собственных* энергий «обычного» и «скалярного» магнитных полей составляет:

$$(22) \quad W_B = W_{\vec{B}} + W_{B^*} = \frac{2}{3} K + \frac{1}{3} K = K$$

И она в точности равна полной кинетической энергии движущейся заряженной частицы! Теперь мы можем утверждать, что в нашем *нерелятивистском* случае найдены все «магнитные» компоненты и их суммарная полная собственная энергия и есть кинетическая энергия равномерно и прямолинейно движущейся частицы. А заодно, мы ещё раз убедились, что никакой «массы неэлектромагнитного происхождения» просто не требуется! Для наглядности мы изобразили дивергенцию векторного потенциала (т.е. «скалярное магнитное поле» нашей движущейся частицы в системе Matlab R2013 на рис 3. Обратите внимание, что знак этого скалярного поля по направлению движения частицы (т.е. «спереди») обратен знаку «сзади». Этот рисунок объясняет нам почему «скалярное магнитное поле» до сих пор остаётся почти не замеченным исследователями. Поставьте в ряд замкнутую цепочку движущихся «гуськом» одинаковых зарядов. Скалярное поле сзади каждого заряда, например, пусть положительное. Но оно накладывается на поле следующего за ним заряда, которое соответственно имеет отрицательный знак и так далее и так далее. В итоге, скалярное поле практически не должно проявляться снаружи замкнутых контуров с током и целиком оказывается

«микроскопическим». Неудивительно, что «официальная» наука доселе не признаёт его право на существование.

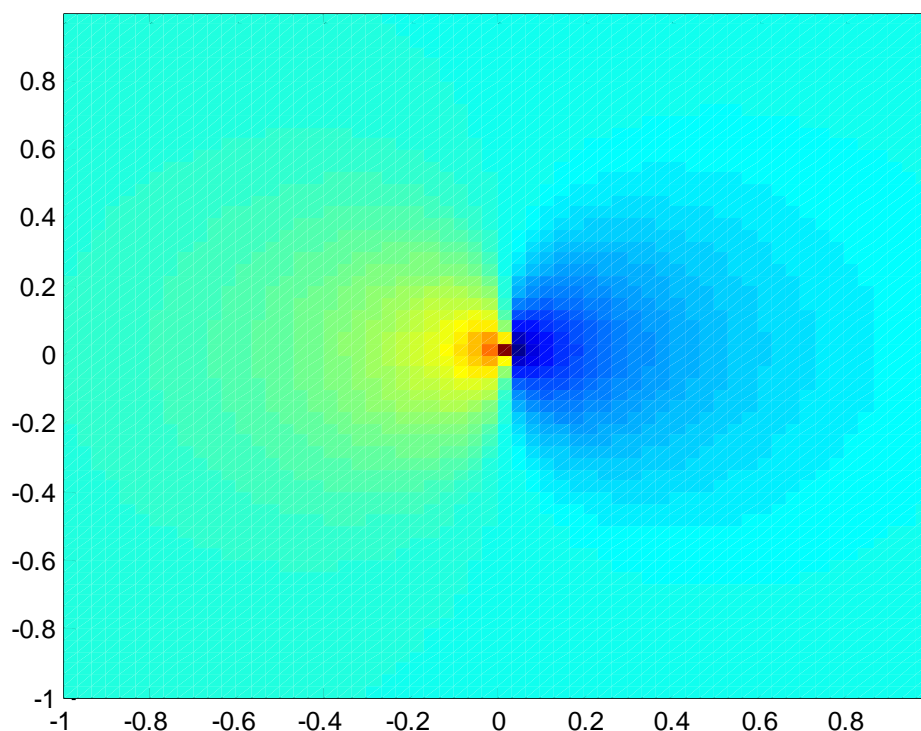


Рис. 3. Скалярное магнитное поле $div\vec{A}$ смоделированное в *Matlab R2013*

В принципе, обобщенное «магнитное поле» можно попытаться ввести как 4-вектор, т.е. к трём пространственным компонентам «обычного» векторного магнитного поля добавить ещё и скалярную. Можно и обобщенный потенциал вводить тоже как 4-вектор [4], дополняя 3 пространственные компоненты векторного потенциала одной компонентой скалярного потенциала. Именно так и вводится в современной физике так называемый «электромагнитный потенциал» [4]. Это, вероятно, способ, вполне альтернативный идее «движущегося со скоростью \vec{v} электрического потенциала φ ».

В то же время мы должны отметить, что ни обычное, ни скалярное магнитное поле не исчерпывают всю совокупность «магнитных» явлений и явлений индукции. Только векторный потенциал в полной мере способен дать полноценное описание всех этих явлений. «Магнитные» поля, являясь пространственными производными векторного потенциала уже по самому своему определению теряют какую-то часть информации, изначально заключенной в нём. Чтобы проиллюстрировать этот вывод экспериментальными данными, расскажем о соответствующих достаточно простых экспериментах.

Во-первых, опишем очень простой опыт, в котором можно воочию убедиться в том, что векторный потенциал объясняет явление электромагнитной индукции в случаях, когда концепция магнитного поля сделать этого не в состоянии. Изготовим специальную рамку из проводника (рис.4), так называемую бирамку. Возьмём два прямоугольных сильных магнита и расположим их в соответствии с рис. 4.

Подключим достаточно чувствительный гальванометр G так, как показано на рисунке. После этого начнём сближать оба магнита между собой так, чтобы скорость их сближения с центральным прямым проводником рамки была бы одинаковой и постоянной. Гальванометр покажет возникновение и протекание индуцированного тока в рамке, хотя магнитное поле во всём центральном отрезке проводника рамки тождественно равно нулю. Причём его отсутствие легко проверить обыкновенным датчиком Холла, что и было сделано. В то же время если размеры рамки велики по сравнению с размерами магнитов, то и во всех остальных проводниках рамки магнитное поле стремится к нулю неограниченно при увеличении размеров рамки. Причём общая длина проводников рамки увеличивается линейно пропорционально длине диагонали рамки, а вот остаточное магнитное поле по наружному периметру рамки убывает пропорционально 4-й степени (такое быстрое убывание обусловлено тем, что наши магниты образуют собой магнитный квадруполь). Значит, часть ЭДС индукции вызванной *остаточным* магнитным полем по наружному периметру рамки будет убывать как третья степень размера рамки и может быть сделано сколь угодно малым, при увеличении размеров рамки. В то же время, экспериментальная ЭДС практически никак не зависит от размеров рамки, зато напрямую зависит от силы магнитов, их размеров и скорости взаимного сближения/удаления. Получается, что магнитного поля ни в каком месте проводников рамки нет, а электромагнитная индукция есть и она довольно велика.

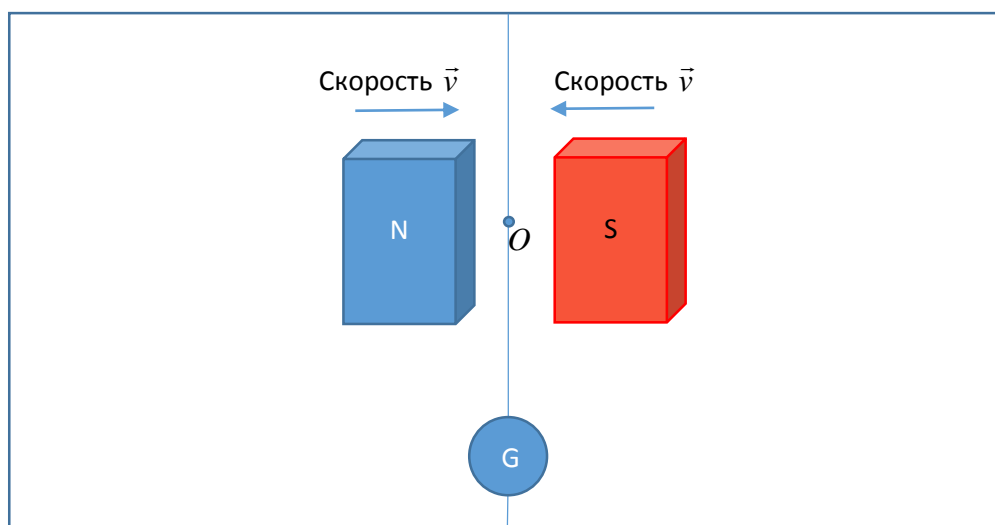


Рис.4. Простой эксперимент по обнаружению «безвихревой» индукции

Отметим и то, что полный поток $\Phi = B \cdot S$ магнитного поля через рамку практически равен нулю, поскольку сколько «силовых линий» входит в рамку, столько же и выходит из плоскости рамки. И уж точно, что он не меняется при сближении магнитов. Т.е. $\frac{d\Phi}{dt} = 0$. Таким образом, даже представления о «магнитном потоке»

(архаичные и восходящие к идее дальнего действия, между прочим) и о его роли в явлениях индукции в данном случае не помогут. Векторный же потенциал и закон индукции в форме (18) мгновенно объясняют нам что происходит. Векторный потенциал *обоих* магнитов между магнитами в месте расположения центрального провода имеет *одно и то же* направление и величину. Понятно, что величина

векторного потенциала растёт при приближении к магниту. Соответственно, если сближать синхронно оба магнита, то векторный потенциал в проводе увеличивается с течением времени, что и порождает электрическое поле индукции, согласно (18). Это поле на отрезке проводника между магнитами и порождает ЭДС (возникновение разности потенциалов), и вызывает протекание тока в рамке, регистрируемое гальванометром.

Во-вторых, предлагается изъять гальванометр из центрального проводника рамки (рис. 4), оставив этот проводник разомкнутым, и установить его в разрыв в любом месте по периметру рамки. ЭДС в этом случае не обнаруживается при сближении/удалении магнитов пары. Это означает что ЭДС возникает *именно в центральном проводнике*, т.е. в том участке, на котором даже и теоретически нет «обычного» магнитного поля.

Попутно отметим, что и идея «скалярного» магнитного поля, даже если допустить, что оно каким-то образом «вырвалось» из недр магнитов и проявилось на макроуровне, не может полностью объяснить приведенный опыт. Дело в том, что даже оно в особой точке O между магнитами должно быть равно нулю [3]. В то же время эта часть провода на практике вносит в ЭДС такой же вклад, как и окрестные. Следовательно, только закон индукции (18), выраженный через векторный потенциал может правильно и без натяжек описать происходящее в этом опыте. Если средний проводник рамки разорвать в каком-то месте, оставив зазор, то, заменив гальванометр чувствительным *электрометром* мы обнаружим уже не ток индукции, а напрямую ЭДС индукции. И эта ЭДС в опыте *не зависит от места расположения разрыва*. Это означает, что изменяющийся векторный потенциал действует в пространстве невзирая на наличие или отсутствие в нём проводника. Следовательно, векторный потенциал вовсе не является сугубо «квантово-механическим» объектом, как иногда пытаются утверждать на том простом и наивном основании, что его прямое действие было впервые обнаружено при интерференции электронов в опытах Ааронова-Бома.

И, наконец, рассмотрев действие векторного потенциала движущейся частицы на пробные частицы и убедившись на опыте в реальности явления индукции, вызванной изменением величины векторного потенциала (даже при отсутствии каких-либо «магнитных полей»), попробуем получить картину электрического поля движущейся частицы, учитывая, что вокруг неё теперь кроме Кулоновского поля возникает ещё и поле индукции, вызванной постоянным изменением векторного потенциала всюду в пространстве в процессе движения частицы. Отметим, что движущаяся частица, которую часто заменяют эквивалентным отрезком элементарного тока кардинально отличается от последнего. Элемент тока полагается в таком случае неподвижным, т.е. вокруг него не изменяется векторный потенциал. А частица-то, хоть формально тоже создаёт в пространстве такой же ток, но *движется*, кинематически изменяет своё положение, что вызывает непрерывное изменение векторного потенциала. Не осознав этого можно очень долго удивляться, почему это магнитостатика до сих пор обходится без «скалярного» магнитного поля и даже без векторного потенциала, а квантовая механика без векторного потенциала не может обойтись. Итак, учитывая, что частица движется, и применяя закон индукции (18) мы видим, что сзади частицы возникает электрическое поле как бы «подталкивающее» её вперёд и как бы «противящееся» её Кулоновскому полю, а спереди электрическое

поле индукции как бы тормозит частицу и опять-таки противится её Кулоновскому полю, силовые линии которого с передней стороны сменили своё направление. В то же время в направлении поперёк частицы векторный потенциал хоть и отличен от нуля, но его мгновенная производная по времени равна нулю и, значит, поле индукции не влияет в этом направлении. Получается, что индуцированное изменением векторного потенциала в окружающем движущуюся частицу пространстве электрическое поле индукции накладывается на Кулоновское поле частицы таким образом, что как бы «сплющивает» его в направлении движения. Так это же и есть так называемое «релятивистское» искажение поля движущейся частицы! В очередной раз мы натолкнулись на тот факт, что все «магнитные» явления есть результат конечности скорости распространения электромагнитных возмущений в вакууме (мировой среде, эфире). Если теперь взглянуть на это поле индукции при **ускоренном** движении частицы, то мы немедленно поймём, что это поле «сзади» и «спереди» от движущейся частицы перестанет быть равным и противоположно действующим. Возникнет небольшая разница между ними. Она будет тормозить частицу. И вот эта-то разница и являет нам силу инерции, которую мы привыкли выражать через массу и считать загадочной. Инерция вызывается индукцией ускоренно движущейся частицы, это полевая реакция окружающей частицу мировой среды на её попытку двигаться с ускорением.

Литература

1. И. Мисюченко. Последняя тайна бога. 2009. <http://electricalleather.com/d/358095/d/poslednyaya-tayna-boga.pdf>
2. И. Мисюченко, В. Викулин. Электромагнитная масса и решение проблемы 4/3. http://electricalleather.com/d/358095/d/em43_1.pdf
3. А. К. Томилин. Основы обобщённой электродинамики. 2009. с. 40-44 https://www.spbstu.ru/publications/m_v/N_017/Tomilin_01.pdf
4. Википедия. Статья «4-вектор». <https://ru.wikipedia.org/wiki/4-%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80>
5. Википедия. Статья «Дивергенция» <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F>
6. Википедия. Статья «Векторный потенциал электромагнитного поля» https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F
7. Википедия. статья «Уравнения Максвелла» https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0

8. Википедия. статья «Плотность заряда»
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%B0
9. Википедия. статья «Напряженность электрического поля»
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D1%91%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F
10. И. Мисюченко. Электромагнитная масса и векторный потенциал.
<http://electricalleather.com/d/358095/d/elektromagnitnaya-massa-i-vektornyy-potencial.pdf>
11. Википедия. Статья «Энергия электромагнитного поля»
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F
12. Г. В. Николаев Электродинамика физического вакуума. Часть III. Глава 4. Индукция вихревого электрического поля от одиночного равномерно движущегося заряда. с.375. Томск. 2004 г.
<https://docs.google.com/file/d/0B4YyBHRgDz3OWC1RdnlsMnhIQ1E/edit>